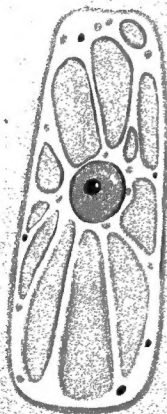
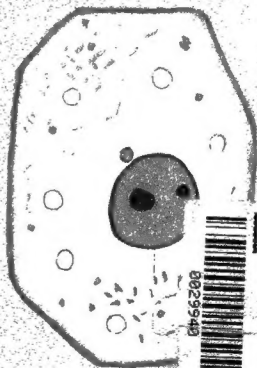


الجزء الأول

# كيمبل بيولوجي



XX XX XX XX XX



مراجعة  
أ.د. / عبد الحليم منتصر



تعريب  
أ.د. / شاكر محمد حماد  
أ.د. / عادل إبراهيم الجزار



# كيمبل بيولوجي

الجزء الأول





# كيمبل بيولوجي

John W. Kimball

الجزء الأول

تأليف

جون و. كيمبال

تعريب

أ. د. / د. شاكور محمد حماد      أ. د. / عادل إبراهيم الجزار

استاذ علم النبات

استاذ علم الحشرات

جامعة الملك فيصل (سابقاً)

جامعة الملك فيصل (سابقاً)

مراجعة

أ. د. / عبد الحليم منتصر

استاذ علم النبات وعضو مجمع اللغة العربية



ص. ب: ١٠٧٢٠ - الرياض: ١١٤٤٣ - تليكس ٤٠٣١٢٩

المملكة العربية السعودية - تلفون ٤٦٥٨٥٢٣ - ٤٦٤٧٥٣١

رقم الإيداع

٩٣/٥٠١١

حقوق النشر :-

Biology, by John W. Kimball

الطبعة العربية :-

© دار المريخ للنشر ، الرياض ، المملكة العربية السعودية ، ١٤١٣ / ١٩٩٣ م

جميع حقوق الطبع والنشر محفوظة لدار المريخ للنشر - الرياض

المملكة العربية السعودية ، ص. ب ١٠٧٢٠ - الرمز البريدي ١١٤٤٣

تلكس ٤٠٣١٢٩ - فاكس ٤٦٥٧٩٣٩ ، هاتف ٤٦٤٧٥٣١ / ٤٦٥٨٥٢٣

لا يجوز استنساخ أو طباعة أو تصوير أي جزء من هذا الكتاب

أو إحتزانه بأية وسيلة إلا بإذن مسبق من الناشر .





# المحتويات

## الجزء الأول

تمهيد

### القسم الأول : مقدمة

- ٢٣ ..... الباب الأول : ماهي الحياة ؟  
لماذا ندرس علوم الحياة ؟ - خصائص الحياة - التنظيم المعقد للحياة - الأيض -  
التكاثر - الاستجابة - التطور - ملخص الباب - تمارين ومسابقات .

- ٣٩ ..... الباب الثاني : الطرق العلمية  
مقدمة - المشاهدات العلمية - التفسيرات العلمية - اختبار الفروض - نشر العمل  
العلمي - قابلية العمل العلمي للتكرار البناء على عمل الآخرين - العلوم الأساسية  
في مقابل العلوم التطبيقية .

### القسم الثاني : تنظيم الحياة

- ٥٩ ..... الباب الثالث : الأسس الكيميائية للحياة : مبادئ  
صورة المادة - فصل مكونات مخلوط المواد النقية - العناصر - اللترات - تركيب الذرة -  
الجدول النظري : نظرة عن قرب - الروابط الكيميائية - الرابطة الهيدروجينية - المواد  
المحبة للماء والمواد الكارهة للماء - الأحماض والقواعد - الوزن الجزيئي والمول - الأس  
الهيدروجيني (درجة الحموضة) - التغيرات الكيميائية - طاقة الرابطة - تفاعلات  
الأكسدة والاختزال - ملخص الباب - تمارين ومسابقات - المراجع .

- ١٠٥ ..... الباب الرابع : جزيئات الحياة  
الهيدروكربونات - الليبيدات - الكربوهيدرات - السكريات - النشويات - السيليلوز -  
البروتينات - تركيب الأحماض الأمينية - تركيب عديدات الببتيد - تركيب ووظيفة  
البروتين - بعض العلاقات - الأحماض النووية - ملخص الباب - تمارين ومسابقات -  
المراجع .

- ١٤٥ ..... الباب الخامس : الأساس الخلوي للحياة  
الخلية كوحدة التركيب في الكائنات الحية - غشاء الخلية - النواة - السيتوبلازم -  
الميتوكوندريا - البلاستيدات الخضراء - الريبوسومات - الشبكة الإندوبلازمية - جهاز

جولي - الليسوزومات - البيروكسيزومات - الفجوات - وظائف الأغشية داخل الخلية - الخيوط الدقيقة - الخيوط البينية - الأنايب الدقيقة - السنتريولات - الأهداب والأسواط - طلاءات الخلية - بدايات النواة وحقيقيات النواة - التشكل - الأنسجة الحيوانية - الأنسجة النباتية - الاتصالات بين الخلايا - ملخص الباب - تمارين ومسابيل - المراجع .

### القسم الثالث : حياة الخلية

#### ١٩٥ ..... الباب السادس : الأيض في الخلايا

يشة الخلية - تركيب المسائل الموجود خارج الخلايا - الانتشار - الانتشار المسر - الأوزموزية - تحمل الأوساط ناقصة التوير وزائلة التوير - النقل النشط - دخول المواد إلى الخلية - خروج المواد من الخلية - كيمياء الخلية - الأنزيمات - التفاعل بين الإنزيم والوسط - متطلبات الإنزيم الفعال - أداء الوظيفة - تنظيم الإنزيمات - ملخص الباب - تمارين ومسابيل - المراجع .

#### ٢٣١ ..... الباب السابع : انطلاق الطاقة في الخلية

البناء والهدم - الجلوكزة - أ ت ب و ن أ د - الجلوكزة : شحن المضخة - الجلوكزة : الأكسدة الأولى - تخمر حامض اللاكتيك - التخمر الكحولي - التنفس الخلوي - دورة حامض الستريك - السلسلة التنفسية - إزدواج النقل الأليكتروني مع تخليق أ ب ت - صحيفة الرصيد التنفسي : المواد - صحيفة الرصيد التنفسي : الطاقة - بطارية التخزين الحيوية - ماذا عن أنواع الوقود الأخرى ؟ - التحكم في التنفس الخلوي - كيف تم التوصل إلى هذه الاكتشافات ؟ - استخدامات الطاقة - الشغل الألي - النقل النشط - إنتاج الحرارة - البناء - ملخص الباب - تمارين ومسابيل - المرجع .

#### ٢٧٣ ..... الباب الثامن : البناء الضوئي

التجارب الأولى - الأصباغ - البلاستيدات الخضراء - الورقة - العوامل المحددة لمعدل البناء الضوئي - تفاعلات الظلام - تفاعلات الضوء - تأثير الضوء على الكلوروفيل - النظم الضوئية ٢، ١ - الفسفرة الضوئية الحلقية - نباتات ك ٤ - ملخص الباب - تمارين ومسابيل - المراجع .

#### ٣١٣ ..... الباب التاسع : انقسام الخلية

الاستمرار الوراثي للخلايا - الانقسام غير المباشر - طبيعة التكاثر الجنسي - التكاثر الجنسي في البكتريا - الانقسام الاختزالي - الانقسام الاختزالي والتباين - ملخص الباب - تمارين ومسابيل - المراجع .

## القسم الرابع : الوراثة

## الباب العاشر : الوراثة : عمل مندل ٣٤٣ ..

نظرية توارث الصفات المكتسبة - نظرية مندل : الخلفية - تجارب مندل - إقتراض مندل - كيفية الحكم على الافتراضات - التلقيح الاختباري : إختيار لإقتراض مندل - المجهن الثنائية - قانون التوزيع المستقل - مابعد نظرية مندل - التباين المستمر : إقتراض تعدد العوامل - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## الباب الحادي عشر : جينات على كروموسومات ٣٦٥ ..

السلوك المتوازي للجينات والكروموسومات - إختبارات النظرية - الكروموسومات - تحديد الجنس - إرتباط X - الشواذ الكروموسومية - الإرتباط - خروايط الكروموسومية - دليل كلاتون ومكلتوك - نسبة المجموعات الارتباطية إلى كروموسومات - ملخص الباب - تمارين ومسائل .

## الباب الثاني عشر : الطبيعة الكيميائية للجينات ٣٩٩ ..

الحامض DNA : مادة الجينات - تجارب جريف وأفرى - تجارب هرشي وتشاس حل الفيرومات - نموذج واتسون وكريك للحامض DNA - تضاعف الحامض DNA - إختبارات نموذج واتسون وكريك - تفاصيل النموذج - إصلاح الحامض DNA - حامض DNA الأصغر - الطفرات - مسببات الطفرة : الأشعاع - مسببات الطفرة : المواد الكيميائية - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## الباب الثالث عشر : التعبير عن الجينات ٤٣٣ ..

نظرية جين واحد - إنزيم واحد - أخطاء داخلية في الأيض - الميموجلوبينات الشاذة - تخليق البروتين - أحماض الريبوزوكليك في الخلية - النسخ - الترجمة - الشفرة - الطفرات - الجينات المتضادة المتعددة - تأكيد الشفرة - فعل الطراز الجيني الكلي - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## الباب الرابع عشر : ترتيب المعلومات الوراثية ٤٦٩ ..

قراءة الجينات : دراسة تتابع الحامض DNA - أنلونيوكليزات التقييد - تتابع الحامض DNA - الجينات المترابكة - إنتاج الجينات المتأثلة : DNA الهجين - الجينات الفصولة - الجينات الوائبة - التوقعات بالنسبة للهندسة الوراثية - استخدام بدائيات النواة لتخليق بروتينات حقيقيات النواة - الترانسكريبتيز العاكس - وضع جينات في حقيقيات النواة - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## الباب الخامس عشر : تنظيم التعبير عن الجينات ٥٠٥ ..

التغير في نشاط الجينات - التغير في حقيقيات النواة - الكروموسومات العملاقة والنشاط

التفاضلي للجينات - ضوابط الترجمة - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## القسم الخامس : التكاثر والنشأة

### ٥٢٩ ..... الباب السادس عشر : التكاثر في النباتات

تبادل الأجيال - المشاكل المطلوب حلها - الحزازيات - السرخسيات - عاريات البذور - كاسيات البذور - الزهرة وتلقيحها - البذرة - انتشار البذور : الثمرة - الاثبات - التكاثر اللاجنسي في النباتات - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

### ٥٥٩ ..... الباب السابع عشر : التكاثر في الحيوانات

التكاثر اللاجنسي في الحيوانات - تكوين الجاميطات - جمع الجاميطات سويا - الإخصاب - الإعتناء بالصغار - التكاثر في الإنسان - أعضاء التناسل في الذكر - أعضاء التناسل في الأنثى - التزاوج والإخصاب - الحمل والولادة - هندسة التكاثر : آفاقه - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

### ٥٩٩ ..... الباب الثامن عشر : النشأة المبكرة

أطوار في نشأة الحيوان البالغ - الأنثاق (التفليج) - التشكل التركيبي (المورفولوجي) - التباين (التنم) - الدليل على أن الخلايا المتباينة (التميزة) تحتوي على كل المجموع الجيني - محتويات الـ DNA من الخلايا المتباينة - محتويات الكروموسوم من الخلايا المتباينة - كروموسومات البولين - انتكاس التباين في الخلايا النباتية - اختبار قدرة الانوية على نشوء البرعمة - العوامل السيترولازمية التي تؤثر على التعبير الجيني أثناء التباين - العوامل الخارج خلوية التي تؤثر على التعبير الجيني أثناء التباين - انتكاس التباين - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

### ٦٣٥ ..... الباب التاسع عشر : النشأة المتقدمة

النمو - التجلد - السرطان - بيولوجية السرطان - السرطانات هي مجاميع من الخلايا المتماثلة - مالمذي يسبب السرطان ؟ - السرطان يتطلب تغير وراثي - العوامل المسببة للسرطان - الشيخوخة : الحقائق - الشيخوخة : النظريات - الموت - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## القسم السادس : تنظيم البيئة الداخلية

### ٦٧٩ ..... الباب العشرون : التغذية الشاذة

مقدمة - إحتياجات التغذية الشاذة - الهضم داخل الخلايا - الهضم خارج الخلايا - التغذية بالترشيح : بلع البحر - النشيطون في البحث عن الغذاء : النطايط ونحلة العسل - الجهاز الهضمي في الإنسان - البلع - المعدة - البنكرياس - الأمعاء الدقيقة - الكبد - الأمعاء الغليظة - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .



## ٧٠٧ ..... الباب الحادي والعشرون : تبادل الغازات في النباتات والحيوانات

تبادل الغازات في الكائنات البحرية - الماء في مقابل الهواء - تبادل الغازات في الجلود والسيقان - تبادل الغازات في الورقة - تبادل الغازات في الحيوانات الأرضية - التنفس عن طريق القصبات الهوائية - المتنفسون بالرائث - ميكانيكية التنفس في الإنسان - مسار الهواء - التحكم في التنفس - الصحة وتلوث الهواء - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## ٧٤٥ ..... الباب الثاني والعشرون : انتقال المواد في النباتات الوعائية

الاهمية - الخشب - اللحاء - تركيب الجذر - الساق الخشبية للوات الفلقتين - الساق العشبية للوات الفلقتين - ساق ذوات الفلقة الواحدة - عروق الورقة - انتقال الماء والأملاح المعدنية - المسار - مقدار الانسياب : التتح - العوامل المؤثرة على معدل التتح - نظريات انتقال الماء - الضغط الجذري - نظرية ديكنسون / جولي - دليل صحة النظرية - انتقال الغذاء - المسار - آلية انتقال الغذاء - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## ٧٧٥ ..... الباب الثالث والعشرون : الأجهزة الدورية في الحيوانات

آليات النقل البسيطة - جهاز مغلق : دودة الأرض - جهاز مفتوح : النحاش - الاسكويد - مضخة واحدة : السمك - ثلاث غرف : الضفدعة والسحلية - أربع غرف : الطيور والثدييات - مسار الدورة في الإنسان - القلب - الأوعية الدموية الجهازية - الشعيرات الدموية - رجوع الدم الى القلب - مكونات الدم - خلايا الدم - الخلايا الدموية الحمراء - الخلايا الدموية البيضاء - الصفائح - البلازما - وظائف الدم - نقل الأوكسجين - نقل ثاني اكسيد الكربون - التبادل بين الدم والخلايا - الجهاز الليمفاوي - التحكم في الدورة - القلب - التحكم المساعد للقلب - التحكم السطحي للدورة - نقل الحرارة - تجلط الدم - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## ٨٢٩ ..... الباب الرابع والعشرون : الجهاز المناعي

مقدمة - المناعة المتسببة عن وسيط خلوي - المناعة عن طريق السائل الجسمي - تركيب الجهاز المناعي - تركيب الأجسام المضادة - التفاعل بين الأجسام المضادة والأجسام الغريبة (الانتيجينات) - الأجسام الغريبة (الانتيجينات) - كيف تظهر الأجسام المضادة - الاستجابة الثانوية - الأساس الوراثي لتنوع الأجسام المضادة - زراعة الأنسجة وخصوصية الفرد - السرطان والحد من تكاثره المناعي - أمراض الحساسية - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## الباب الخامس والعشرون : الاخراج والحفاظ على مكونات وخواص السائل الخلوي الزائد

٨٧١

الاجراج في النباتات - الاجراج في الامبيا - الاجراج في اللاقاريات - الاجراج في الانسان - تركيب كلية الانسان - تكوين البول - تحكم الكلية - ميكانيكية الاستبعاد - مرض الكلية - الفضلات التروجينية للانسان - الاجراج في الفقاريات الأخرى - الفقاريات المائية - الفقاريات الأرضية - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## الجزء الثاني

### القسم السابع : الاحساس والتناسق

#### الباب السادس والعشرون : الاستجابة والتناسق في النباتات

٩٢٣

أهمية الاتصال الداخلي - حركات النمو - آلية الانتحاء الضوئي - إكتشاف ودور الأوكسين - نشاطات أخرى للأوكسين - كيف تعمل الأوكسينات ؟ - الجيريللمينات - السيوتوكينات - حامض الأبسيسيك (ا ب ا) - الايثيلين - عملية الازهار - العوامل البادئة للازهار - آلية التوقيت الضوئي - إكتشاف الفيتوكروم - نشاطات أخرى للفيتوكروم - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

#### الباب السابع والعشرون : الغدد الصماء في الحيوانات

٩٥٧

مقدمة - هرمونات الحشرات - هرمونات الحشرات ومكافحة الآفات - طرق البحث في علم الغدد الصماء - الغدد الصماء في الإنسان - الغدة الدرقية - الغدة الجاردرقية - الجلد - المعدة والأمعاء - جزر لانجرهانز - الغدة النخامية - الفص الأمامي - الفص الخلفي - الغدة التيموسية (المبيثنالاماس) - الغدة فوق كلوية (غدة الأدرينالين) - نخاع الغدة الفوق كلوية (غدة الأدرينالين) - البراعم التناسلية: الخصي - المبايض - المشيمة - الغدة الصنوبرية - الكلية - الهرمونات وتوازن وظائف سوائل الجسم (الهيميوستازيس) - ميكانيكية عمل الهرمونات - الفيرومونات - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

#### الباب الثامن والعشرون : عناصر التوافق العصبي

١٠٠٣

المكونات الثلاثة للتوافق العصبي - القوس المنعكس - الخلية العصبية - النبض العصبي - نهاية العصب المستقبلات الميكانيكية - اللمس والضغط - السمع - التوازن - المستقبلات الضوئية - العين المركبة - تركيب عين الانسان - إكتشاف الضوء - المستقبلات الحرارية - المستقبلات الكيميائية - النوق - الشم - المستقبلات الكيميائية الداخلية - المستقبلات المضاطيسية والمستقبلات الكهربائية - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## الباب التاسع والعشرون : الجهاز العصبي ١٠٥٧

الجهاز العصبي المركزي - الحبل الشوكي - المخ - المخ الخلفي - المخ الأوسط - المخ الأمامي - تحليل المعلومات البصرية - الجهاز العصبي السطحي - الجهاز الحسي / الجسمي - الجهاز العصبي الذاتي - الجهاز العصبي السيمبثاوي - الجهاز العصبي الباراسيمبثاوي - العقاقير والجهاز العصبي (١) العقاقير المنبهة (٢) العقاقير المهدئة (٣) عقاقير الملووسة - الببتيدات المشابهة للمستحضرات الأفيونية في المخ - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## الباب الثلاثون : العضلات والمؤثرات الأخرى ١٠٩٧

أنواع العضلات - تركيب وتنظيم العضل الهيكل - تنشيط العضل الهيكل - فسيولوجية كل العضل - الليقة العضلية - التركيب الكيميائي للعضل الهيكل - نظرية الخيط المنزلق - ربط الإثارة بالانكماش - كيميائية الانكماش العضلي - عضلة القلب - العضلة اللساء - مؤثرات أخرى: الأهداب والأمشاط - أعضاء أحداث الكهرباء - الكروماتوفورات - أعضاء التائق - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## الباب الحادي والثلاثون : عناصر السلوك ١١٣٧

ماهو السلوك - السلوك الغريزي - السلوك في النباتات - التكليف - ردود الفعل - الغرائز - مطلقات السلوك الغريزي - السلوك المنظم والساعات البيولوجية - دورة حياة نحلة العسل - عمل الحلية - أدوات نحلة العسل - الاتصال بين نحل العسل - السلوك التعليمي - التطبع - التعود - الاستجابة المشروطة - الجهازى (التكيف) - الحافز - المبادئ - اللغة - الذاكرة - الأهمية التأقلمية للسلوك - سلوك التغذية - السلوك الدفاعي - البقاء في البيئة الطبيعية - سلوك التكاث - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## القسم الثامن : التطور

## الباب الثاني والثلاثون : بدائيات النواة (مملكة مونيرا) ١١٩٥

طبيعة بدائيات النواة - الخلية البكتيرية - تصنيف البكتيريا - بكتيريا البناء الضوئي - البكتيريا ذاتية التغذية الكيميائية - البكتيريا العنصرية الموجبة لصبغة جرام - البكتيريا الكروية الموجبة لصبغة جرام - البكتيريا العنصرية السالبة لصبغة جرام - البكتيريا الكروية السالبة لصبغة جرام - البكتيريا الحلزونية - البكتيريا الشعاعية وأقاربهم - السبيريوكيتات - الميكوبلازومات - الريكسيات والكلاميديات - البكتيريا الزاحفة - الطحالب الخضراء المزرققة (شعبة الطحالب الزرقاء) - الطحالب الخضراء البديائية - البكتيريا القديمة - الفيروسات - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## ١٢٣٥ الباب الثالث والثلاثون : البروتستانت والفطريات

مملكة البروتستانت - المميزات - تطور حقيقيات النواة - جذرية القدم : (شعبة اللحميات) - السوطيات : (شعبة السوطيات) - الهدبيات : (شعبة الهدبيات) - الحيوانات الجرثومية (أو البوغية) : (شعبة الحيوانات الجرثومية) - الطحالب حقيقية النواة - الطحالب الحمراء : (شعبة الطحالب الحمراء) - الطحالب السوطية : (شعبة الطحالب السوطية) - الطحالب اليوجلينية : (شعبة الطحالب اليوجلينية) - الطحالب الخضراء : (شعبة الطحالب الخضراء) - الطحالب الذهبية : (شعبة الطحالب الذهبية) - الطحالب الازرقية : (شعبة الطحالب الازرقية) - مملكة الفطريات - المميزات - شعبة الفطريات الطحلبية - شعبة الفطريات الزقية - شعبة الفطريات البازيدية - الفطريات الناقصة : (شعبة الفطريات الناقصة) - الأشن - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## ١٢٧١ الباب الرابع والثلاثون : المملكة النباتية

الحقب الجيولوجية - تطور النباتات - الحزازيات القائمة والمنطحة : (شعبة الحزازيات) - النباتات الوعائية : (شعبة النباتات الوعائية) - تحت شعبة السيلوسيدا، تحت شعبة لاكوسيدا، تحت شعبة سفينوسيدا، تحت شعبة تريوسيدا - الاقلمة في كاسيات البذور - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## ١٢٩٩ الباب الخامس والثلاثون : اللافقاريات

مقدمة - الأسفنجيات : (شعبة البوليغرا) - الكندياريات : (شعبة الكندياريات) - الديدان المفلطحة : (شعبة الديدان المفلطحة) - منشأ الحيوانات - الديدان المستديرة : (شعبة النياتودا) - الديدان الحلقية : (شعبة الديدان الحلقية) - الرخويات : (شعبة الرخويات) - مفصليات الأرجل : (شعبة مفصليات الأرجل) - شعبة الأنيكوفورا - شوكيات الجلد : (شعبة شوكيات الجلد) - الحبليات : (شعبة الحبليات)، تحت شعبة الراسحليات : تحت شعبة التونيكتاتا (يوركداتانا) - ديتروستوميا، بروتوستوميا - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## ١٣٣٧ الباب السادس والثلاثون : الفقاريات

الأسماك عديمة الفكوك (طائفة أجناتا) - البلاكودرميسات - الأسماك الغضروفية (طائفة كوندر يكتين) - الأسماك العظمية (طائفة أوستاكتين) - البرمائيات (طائفة أمفيبيا) - الزواحف (طائفة ريبتيلا) - البلييكوساورات - السلاحف (رتبة كيلوزينا) - البليوسوروز - إكتيلوسوروز - الدياسييدات - الطيور (طائفة إيفز) - الانحراف القاري - الثدييات (طائفة ماماليا) - تطور الانسان (هوموسايتز) - ملخص الباب - تمارين ومسائل - المراجع .

## القسم التاسع : علم البيئة الدراسة الاحيائية للعشائر وبيئتها

### الباب السابع والثلاثون : سريان الطاقة من المجال الحيوي ١٣٧٧

ادخال الطاقة - إنتاجية النظام البيئي - السلاسل الغذائية - سريان الطاقة في سلاسل الغذاء - التكوينات الاحيائية - الحريق - تعاقب النباتات - النظم البيئية في المياه العذبة - النظم البيئية البحرية - ملخص الباب - تمارين ومسابقات - المراجع .

### الباب الثامن والثلاثون : دورات المادة في المجال الاحيائي ١٤١٧

دورة الكربون - دورة الأوكسجين - دورة النتروجين - دورة الكبريت - دورة الفسفور - متطلبات معدنية أخرى - الطرق التحليلية - الماء والمجال الاحيائي - خواص الماء - دورة الماء - التربة - احتلالات زيادة الأواضي الزراعية في العالم - ملخص الباب - تمارين ومسابقات - المراجع .

### الباب التاسع والثلاثون : نمو العشائر (أو الزيادة السكانية) ١٤٥٣

العشيرة البشرية - أسس نمو العشائر - العوامل غير المعتمدة على الكثافة لكبح الزيادة السكانية - العوامل المعتمدة على الكثافة لكبح الزيادة السكانية - التنافس على الغذاء - التنافس التكاثري - الهجرة - الافتراس والتطفل - طاقة تحمل البيئة - إستراتيجيات ر واستراتيجيات ك - في الحتم - ملخص الباب - تمارين ومسابقات - المراجع .

### الباب الأربعون : التداخل بين الأنواع ١٤٧٩

مقدمة - الافتراس - التخفي (التلون) - الدفعا - المحاكاة - السلوك الجماعي - الاستجابات للهروب - التطفل - المعيشة المشتركة - تبادل المنفعة - تثبيت النتروجين - التكافل - التنافس بين الأنواع - كم عدد الأنواع التي يمكنها أن تعيش مع بعضها البعض في منطقة واحدة - ملخص الباب - تمارين ومسابقات - المراجع .

### الباب الحادي والأربعون : بيئة الانسان (١) الوباء ١٥١٩

الوفاة : المجاعة ، الحرب ، الوباء - التطفل : غزو العائل - مقاومة العائل للطفيليات - التدخل في نقل الطفيليات - طفيليات الانسان المعتمدة على الكثافة - العلاج الكيميائي - المضادات الحيوية - المناعة السلبية - إجراءات الصحة العامة - احتلالاتها المتوقعة - ملخص الباب - تمارين ومسابقات - المراجع .

### الباب الثاني والأربعون : بيئة الانسان (٢) التنافس على الغذاء ١٥٤٧

قدرة البيئة على التحمل - مخاطر زراعة المحصول الواحد - العمليات المبكرة في مجال مكافحة الآفات - الد. د. ت - المبيدات العضوية الفوسفورية والكاريباتية - مبيدات

الجيل الثالث - المكافحات الحيوية - تربية أنواع مقاومة - اتجاهات أخرى لمكافحة  
الآفات - طريقة تعقيم الذكور - ماذا يحمل لنا المستقبل ؟ - ملخص الباب - تمارين  
ومسائل - المراجع .

١٥٧٧	.....	النظام الدولي للوحدات
١٥٧٩	.....	قائمة المصطلحات مرتبة حسب الأبجدية العربية
١٦٢٥	.....	قائمة المصطلحات مرتبة حسب الأبجدية الإنجليزية

## تقديم

## PREFACE

تم إعداد هذه الطبعة الخامسة من كتاب الأحياء لنفس أهداف الطبقات السابقة . وتظل الموضوعات مرتبة تبعاً لخطوط وظيفية أي أن النواحي المختلفة لعلم الأحياء تدرس من وجهة نظر الميزات والمشاكل التي تشترك فيها كل الكائنات الحية وهذه تتراوح بين التنظيم الجزيئي والخلوي إلى الوراثة وطرق التكاثر والأبيض والاحساس والتطور ، واني لأمل من وراء هذا الترتيب أن ينقل إلى القارئ فكرة أفضل عن توحيد الصور المتباينة للحياة ، وبالإضافة إلى ذلك فقد أعيد تنظيم بعض الأبواب حتى تكون أكثر توافقاً مع الخط التنظيمي العام وعلى ذلك فقد انضمت كل المعلومات عن حياة الخلية (الجزءان الثاني والثالث) وكل الأبواب التي تتناول وظائف الأعضاء (الجزء الخامس والسادس والسابع) مع بعضها . وحينما بدأت إعداد هذه الطبعة الجديدة كانت أمامي عدة أهداف أحدها بالطبع هو تحديث مادة الكتاب في المجالات التي تتطور بسرعة . ولذا فإن القارئ سوف يجد باباً جديداً عن تنظيم المعلومات الوراثية (كيف تتجمع المورثات وكيف تتم «قراءتها» - الجينات المترابطة والمفصلة والمنقولة وطرق تهجين الحامض النووي (DNA) . هناك فسمان جديداً عن بيولوجيا السرطان كما نحتت بتوسع علم المناعة (بما في ذلك تولد التباين في الأجسام المضادة) وفسولوجي الأعصاب للمخ البشري (بما في ذلك مناقشة البيبتيدات شبه الأوبيات) وأصل الحياة . أما الموضوعات الأخرى التي تظهر لأول مرة في صورته منقحة فهي تشمل : الحامض DNA الأعر (Z) وتضاعف الحامض DNA الشفرة الوراثية الخاصة بالميتوكوندريا والاوزوموزية الكيميائية - الخيوط الوسطية في الخلايا - الانتشار المساعد - التنظيم الحراري في الفقاريات - التوجه المغناطيسي في البكتريا والفقاريات - والأهمية التأقلمية للسلوك - البكتريا

القديمة - الطحالب الخضراء الأولية - النظم البيئية في المياه العذبة وفي البحار - الطرق المعتمدة وغير المعتمدة على الكثافة للحد من نمو العواثر - الجغرافية الحيوية للجزر - وتطور الانسان .

ولعل أهم التغيرات التي طرأت على هذه الطبعة هي إدخال العديد من الصور الملونة في أجزاء كثيرة من الكتاب . كما أن عدداً من صور الأبيض والأسود جديدة ويظهر كذلك ٦٧ رسماً وشكلاً جديداً لأول مرة . كما أعيد رسم أشكال عديدة ليس فقط لتكون وسائل إيضاح فعالة وإنما لكي تسر الناظرين أيضاً .

والتقدم السريع الذي يحدث في علوم الأحياء يجعل هناك المزيد والمزيد كل عام مما نود أن نقوله للطلاب ولكن من عيوب ذلك أن كتب علم الأحياء تزداد كثيراً في الحجم حتى أن بعضها يصل إلى أحجام عملاقة . ومع كل ما كنت أرغب في إضافته فقد كان من العسير أن أحافظ على حجم معقول لهذه الطبعة ومع ذلك فقد إختضرت أو الغيت بعض الموضوعات تماماً لإفساح المجال لموضوعات أخرى . علماً بأنني تلقيت رجاء واخذ على الأقل ممن راجعوا الكتاب لإعاده كل واحد من الموضوعات التي حذفتم . لذا فأنتي آمل ألا يكون أحد موضوعاتكم المفضلة قد إختفى فإذا كان ذلك قد حدث فانكم ربما توافقونني على أن الموضوعات التي حلت محلها درجة أعلى من الأولويه .

تميل كتب علم الأحياء المبدئية إلى أن تكون مجرد تجميع لبعض الإستنتاجات وبالنسبة لكثير من الطلاب فإن ذلك يعد وضعاً مناسباً : فهم يفضلون أن يعرفوا الإجابات دون أن يشغلوا أنفسهم بالوسائل التي أدت إلى التوصل إليها وبما يكتنفها من الرية . كما أنها أيضاً الطريقة الوحيدة لكي يكون حجم الكتاب الذي يغطي كل مجالات هذا العلم معقولاً . ولكن ذلك ليس علماً جيداً ، فالساعي العلمية لها بعض خصائص القصص البوليسية من حيث جمع الأدلة وسبر أغوار الاحتمالات المختلفة . ولقد حاولت في كل هذه الطبعة أن أركز على المشاهدات والتجارب التي تشكل الأساس بالنسبة لمفهومنا لعلم الأحياء أو أقدم إفتراضات بديلة إذا كانت الأدلة ضعيفة أو متناقضة . لقد كتبت باباً خاصاً في هذه الطبعة عن الطرق العلمية . وقد حاولت أن أبين كيف يصمم العلماء التجارب بإستخدام مثال من دراسة مشكلة حيوية معينة (في الحساسية) وكيف يتم تقييم التجارب وتوصيل النتائج للآخرين .



إننى مدين للكثيرين على ما قلموا من مساعدات اثناء إعداد هذه الطبعة: لكل العلماء الذين أمدوني بالصور وصور المجهر الاليكتروني والذين تظهر أسماؤهم قرين الأشكال المستمدة من عملهم. وكذلك لتلامذتى في قسم الأحياء بجامعة تفتس والذين كانوا بمثابة حيوانات تجارب إختبرت فيها الموضوعات الجديدة. وسارا بينيت (مركز الأبحاث الحقلية - بلمونت - ولاية ماساشوستس)، مايكل كولتز (جامعة ميموريال في نيوفوندلاند) - دوريس هيلمز (جامعة كليمزون) - توماس ل. كوبنير (جامعة ترينيتي) - جون س. نيس (جامعة ويسكونسن - ماديسون) - وجوزيف م. وود (جامعة ميسورى - كولومبيا) وكل منهم قد راجع جزءاً كبيراً من الكتاب وأبدى العديد من الاقتراحات القيمة. وأنا مدين كذلك لروبرت دانو الذي لم يقم فقط برسم العديد من الرسوم والأشكال الجديدة بل أعاد أيضاً رسم الكثير من الأشكال المأخوذة من الطباعات السابقة وكذلك أشكر كل العاملين في أديسون - ويزلي لمجهوداتهم الشاقة في كل مراحل إعداد الكتاب.

أملى كبير في أن تلبى هذه الطبعة احتياجات من يختارها من المدرسين وأن ترقى إلى مستوى توقعاتهم وكذلك (وخاصة) بالنسبة للطلاب الذين يقرئونها. وأرجو أن أتلقي أى تصويبات أو مقترحات يمكن ان تسهم في تحسينها.

ج. و. ك.

أندوفر - ماساشوستس

ديسمبر ١٩٨٦

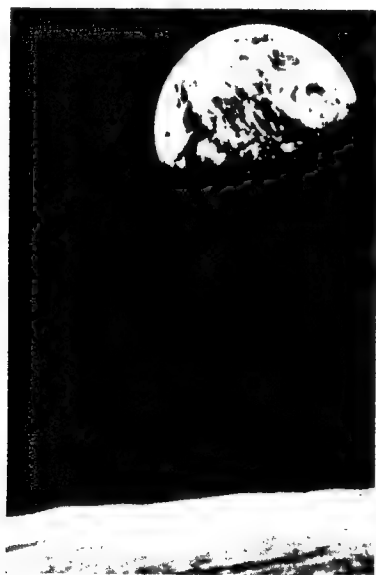


## PART 1

## القسم الأول

### INTRODUCTION

### مقدمة



كوكبنا كما رآه من القمر طاقم المركبة أبوللو ٨ (بتصريح من ناسا)



## CHAPTER 1

## الباب الأول

### WHAT IS LIFE

### ماهي الحياة ؟

#### WHY STUDY BIOLOGY

١-١ . لماذا ندرس علوم الحياه ؟

#### THE CHARACTERISTICS OF LIFE

١-٢ . خصائص الحياة

The Complex Organization Of Life

١ . التنظيم المعقد للحياه

Metabolism

٢ . الأيض

Reproduction

٣ . التكاثر

Responsiveness

٤ . الإستجابة

Evolution

٥ . التطور

#### CHAPTER SUMMARY

ملخص الباب

#### EXERCISES AND PROBLEMS

تمارين ومسائل



## الباب الأول

### ماهي الحياة ؟

١-١ . لماذا ندرس علوم الحياة؟ WHY STUDY BIOLOGY ?

هناك سبب يفوق كل الأسباب: حتى نعرف المزيد عن انفسنا وعن العالم الذي نعيش فيه. نحن حيوانات وفي كثير من النواحي لانختلف عن بقية الحيوانات إلا قليلا. وفي قليل من النواحي نختلف بدرجة كبيرة نجعلنا نحتل موقعا فريدا في هذا العالم. وعلى الرغم من أنه لايمكن القطع بأن لنا ميزات خاصة لا تتوفر بأي قدر للحيوانات الأخرى إلا أنه من الواضح تماما أننا نتمتع بقدر أكبر بكثير من هذه المزايا. ومن هذه المزايا حب الإستطلاع. ويمكن تعريف البشر بأنه «الانسان الذي يعلم». والرغبة في المعرفة هي العلامة المميزة للوجود البشرى. وعلى ذلك فإننا ندرس علوم الحياة لنفس الأسباب التي من أجلها ندرس الفيزياء والرياضيات والتاريخ والأدب والفن: لاكتساب المعرفة حول المزيد من مظاهر حياتنا وعالمنا.

كما يجب أن نلاحظ كذلك أنه يمكن أن نبني حياة عملية نافعة على الامام بعلوم الحياة. فمعامل الجامعات في حاجة إلى من يضطلع بمهمة الاكتشافات الجديدة التي تجعل هذا الكتاب قليل الفائدة سريعا. كما أن هناك حاجة إلى من يطبق معرفته بعلوم الحياة في مثل تلك المجالات العلمية كالطب والبحوث الزراعية. والحاجة مستمرة دائما إلى مدرسى علوم الحياة لنقل معارفهم التي إكتسبوها من سبقهم من الأجيال إلى الأجيال القادمة.

وسوف يكون كل مواطن قادرا على الادلاء بصوته بذكاء فيما يتعلق بمسائل مرتبطة بمبادئ علوم الحياة ويرفاهية الانسان. مسائل مثل العقاقير والمبيدات الحشرية والاشعاع ووسائل الهندسة الوراثية ومعايير تحديد النسل وهي ليست إلا قليل من

المسائل العديدة التي يمكن للمعرفة بعلم الحياة أن تغير من حياتنا فيها . والذي يمكن أن يقرر ما اذا كانت هذه المعرفة تزيد من قيمة الحياة أو تسلب كل قيمة لها هو إستيعاب المواطنين لعلم الحياة . ولكي نتخذ قرارات فعالة في هذا الصدد لا بد لنا ليس فقط أن نفهم القيم التي تحب حمايتها والعمل على انتشارها ولكن يلزم لنا أيضا معرفة بالأسس الفيزيائية والحيوية التي تقوم عليها حياتنا . وفهمنا للأولى لا بد أن يأتي من دراسة للتاريخ والدين والفلسفة والأدب والفن - أي للدراسات الانسانية . أما معرفتنا بالثانية فلا بد أن تأتي من دراستنا للعلوم . وهذا الكتاب هو محاولة للمساعدة في دراسة أحد هذه العلوم : وهو علم الأحياء .

## ٢-١ . خصائص الحياة THE CHARACTERISTICS OF LIFE

عادة يكون تمييز الحياة أسهل من تعريفها . فكلنا نستطيع أن يدرك أن الكلب حي بينما الحجر ميت ( الشكل ١-١ ) . ماهي إذن الخواص التي تميز الكلب عن الحجر ؟

في عام ١٩٧٦ وفي العشرين من يوليو وفي تمام الساعة الحادية عشرة والدقيقة الثالثة والخمسين بتوقيت جرينتش ثم في الثالث من سبتمبر وفي تمام الساعة العاشرة والدقيقة التاسعة والثلاثين بتوقيت جرينتش هبطت مركبتان فضائيتان هما فايكنج - ١ وفايكنج - ٢ على سطح كوكب المريخ . وكان في كل مركبة عدد من التجارب المصممة لاكتساب المزيد من المعلومات عن الكوكب ومن بين هذه التجارب كانت هناك خمس لمحاولة الإجابة على السؤال : هل هناك أي حياة على المريخ ؟

وكانت أكثر هذه التجارب قربا من الإجابة المباشرة هي كاميرا تلفزيونية . فلو أن عدسة الكاميرا شاهدت أحد المخلوقات على المريخ لحصلنا على اجابة على هذا السؤال . ولكن ذلك لم يحدث . كما لم يحدث أن نقلت الكاميرات أي علامات تدل على نشاط كائنات حية . كانت هناك وفرة من الاحجار ولكن لا شيء يشبه الكلب . إذن ماهي الانواع الاخرى من دلائل الحياة يمكن ان نبحث عنها ؟





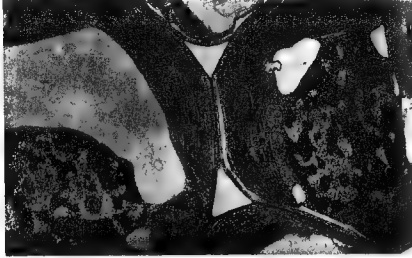
الشكل ١-١

## THE COMPLEX ORGANIZATION OF LIFE

## ١- التنظيم المعقد للحياة

قد تبدو بعض الأحجار معقدة بشكل ما وفيها المعادن المختلفة مبعثرة . ولكن تنظيمها هذا هو البساطة بعينها إذا ما قورن بالتعقيد الموجود في أى كائن حي . فإذا فحصنا أى جزء من جسم كلب مجهرياً فأننا سوف نكتشف أنه مكون من خلايا cells . هذه الوحدات - وهي عادة أصغر من أن تراها العين المجردة - تكون منتظمة في أنسجته tissues وهذه بدورها تشكل أعضاء organs مثل المعدة والكلية . ومجموعة من الأعضاء مثل المعدة والكبد والأمعاء تعمل معاً كجهاز system .

وعلى مدى عدة قرون درس علماء الحياة هذه المستويات لتنظيم الحياة . وفي هذا القرن تم استحداث طرائق ومعدات حديثة ساعدت علماء الحياة على المزيد من التعمق في تعقيدات الكائنات الحية . فالمجهر الإلكتروني على سبيل المثال قد كشف درجة من التركيب والتنظيم التحت خلوى والتي لم تكن لتخطر على بال أحد منذ أربعين عاماً خلت (الشكل ١-٢) . كما أنه أصبح الآن ممكناً التعمق أكثر فأكثر وتشرح التراكيب التحت خلوية المسماة بالعضيات الى جزئياتها الكبيرة وجزئياتها الصغيرة بل والذرات التي تتركب منها بواسطة الطرائق والأجهزة الكيميائية .



الشكل ١-٢. خلايا ورقة عباد الشمس كما ترى بالمجهر الاليكتروني وتبدو أجزاء من ٤ خلايا متجاورة. لاحظ أن بداخل كل خلية عدداً من المكونات المحددة (المعضيات) وهذه بدورها على قدر كبير من التعقيد في التركيب. والتركيب الذي لايمكن مشاهدته إلا بالمجهر الاليكتروني يعرف بالتركيب الدقيق (بتصريح من هـ ج أونوت وكـ م. سميت).

ومن أهم الخصائص المميزة للكائنات الحية على الأرض أنها تتركب من جزيئات تحتوى على ذرات الكربون. وهذه الخاصية مميزة للكائنات الحية لدرجة أن كيمياء مركبات الكربون تسمى بالكيمياء العضوية. وقد تحتوى الصخور أيضا على ذرات الكربون ولكن ما لم تضعها فيها بعض مظاهر الحياة فانها لا تحتوي على جزيئات عضوية. وحيث أن الحياة كما نعرفها لا توجد بدون جزيئات عضوية فإن إحدى التجارب الموجودة على سفن الفايكنج الفضائية كانت مصممة للبحث عن جزيئات عضوية في عينة من تربة المريخ. ولكنها لم تجدها.

وتنظيم الذرات والجزيئات في الكائن الحى أكثر ديناميكية بكثير عنه في الكائنات غير الحية مثل الصخور. فالصخور التى تراها الآن تحتوى على نفس الذرات التى كانت تحتوى عليها في العام الماضى. وعلى النقيض فان الكلب الذى نراه اليوم يتركب أغلبه من ذرات اكتسبها منذ رأيناه في العام الماضى وهذا التبدل السريع للمادة في الكائنات الحية هو جزء من الأيض فيها.

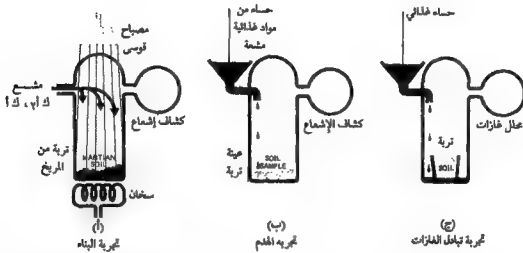
## METABOLISM

## ٢ - الأيض

يتبادل الكلب المادة مع ما يحيط به من الأشياء بصفة مستمرة. فنحن نراه يأكل ويشرب كما أنه يتبرز ويتبول ويتنفس. وباستخدام الاجهزة المناسبة يمكن أن نوضح أن هواء الزفير من الكلب يختلف في تركيبه عن الهواء الذي يستنشقه فقد اختفى الأوكسجين وحل محله ثاني اكسيد الكربون.

وتشارك جميع الكائنات الكلب في هذه الخاصية فسواء تم ذلك بسرعة أو ببطء فانهم جميعا يأخذون المادة من البيئة ويعيدونها إليها. كما أن المادة المأخوذة ليست هي تماماً المادة المعطاة فقد رأينا أن هواء الزفير يختلف عن هواء الشهيق وكثير من المواد الموجودة في البول والبراز لم تكن موجودة في الطعام المأكول. فخلال الفترة القصيرة نسبيا التي تمضيها المواد الغذائية داخل جسم الكلب فانها تمر بعدة تحولات. وفي أثناء ذلك تنطلق الطاقة وفي النهاية تظهر هذه الطاقة في صورة حرارة لتدفئ جسم الكلب. ولكن قبل أن يحدث ذلك فان الطاقة قد تستغل في بعض النشاطات الاخرى المميزة للحياة. وقد صممت ثلاث من التجارب على السفن الفضائية فايكنج للبحث عن أدلة على حدوث الأيض في عينات من تربة المريخ.

كانت واحدة من هذه التجارب تبحث عن شيء في التربة يمكنه أن يخلق جزيئات عضوية معقدة من مركبات كربونية بسيطة مثل ثاني أكسيد الكربون (ك أ) وأول أكسيد الكربون (ك أ). في هذه التجربة تم ادخال خليط من ك أ المشع مع ك أ (ب) بنسبة ٩٥ : ٥ الى وعاء يحتوي على عينة صغيرة من تربة ومناخ المريخ. ولما كان تخليق جزيئات عضوية من جزيئات بسيطة مثل ك أ يحتاج الى طاقة وأن الصورة الأساسية لهذه الطاقة على الأرض هي ضوء الشمس (الذي يدخل في عملية البناء الضوئي) فقد أضىء المخلوط بواسطة مصباح قوسى. وبعد ٥ أيام تم تسخين التربة لطرد أى جزيئات عضوية مشعة تكون قد تكونت من ك أ المشع (و/أو ك أ) بواسطة مخلوقات في التربة (الشكل ١-٣). هذه التجربة كانت تبحث اذن عن دليل على حدوث ايض يتم فيه تخليق مواد معقدة من مواد بسيطة. وهذا النوع من الأيض يسمى البناء



الشكل ٣-١. التجارب الثلاث للكشف عن وجود الحياة والتي أجريت على مركبات الفضاء فايكنج. تجربة البناء (أ) تبحث عن دليل على حدوث البناء الضوئي. بعد انقضاء فترة الإضاءة فإن أى غازات (ك أ و ك أ) غير متفاعلة تذهب أولاً إلى كشاف الإشعاع وبعد ذلك فإن أى جزيئات عضوية تكون قد دخلت في تركيب الاشعاع. هذه التجربة تعرف أيضاً بتجربة الإنطلاق الحرارى (PR).

تجربة الهدم (ب) صُممت للكشف عن إطلاق الغازات المشعة (مثل ثاني أكسيد الكربون) من حساء المواد الغذائية المشعة الذى تبلى به التربة. هذه التجربة تعرف أيضاً باسم الإنطلاق المشع (LR).

في (ج) أو تجربة تبادل الغازات GFX يستعمل محلل الغازات للكشف عن أى تغيرات في تركيب الغازات وبالتالي عن دليل على حدوث تنفس أى كائنات حية تكون موجودة في التربة.

تجربة ثانيه كانت مصممة للبحث عن شواهد تدل على حدوث الهدم catabolism أى الأيض الهدام. وفي هذه التجربة وضعت عينة التربة مع حساء مخفف من جزيئات عضوية مشعة في حضانة (الشكل ٣-١ ب). وفي خلال الأيام العشرة التالية كان يتم فحص الجو فوق العينة بانتظام لتبين ظهور غازات مشعة مثل ثاني أكسيد الكربون. فظهور هذه الغازات المشعة دليل على تحلل الجزيئات العضوية المشعة التي كانت التربة مشبعة بها.

أما التجربة الثالثة التي كانت مصممة للبحث عن دليل على حدوث الأيض في تربة المريخ فهي تبادل الغازات (الشكل ٣-١ ج). في هذه التجربة تم وضع خليط معلوم

من الغازات فوق عينة من التربة وكان يتم تحليله بصفة دورية لتحديد ما اذا كانت أى غازات (مثل ك أ ) قد اختفت منه أو أضيفت اليه .

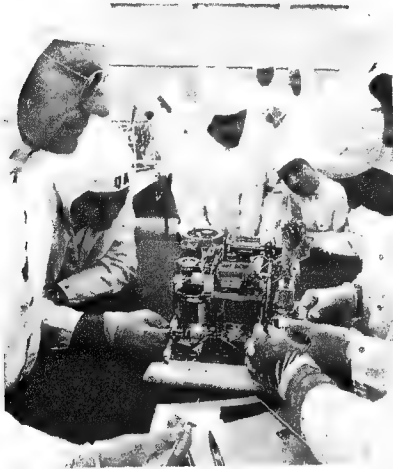
فاذا فشلت التربة وحدها في إحداث تغيير في تركيب الغازات فانه يمكن إضافة حساء مغذى إلى التربة فاذا كانت هناك كائنات في التربة فانها سوف تهدم الجزيئات العضوية الموجودة في هذا الحساء وبعض نواتج الهدم تكون على هيئة غازات يمكن للاجهزة أن تكتشفها .

وكان الافتراض الاساسي في كل هذه التجارب الثلاث - والتي تمت في جهاز يزن ٣٥ رطل (١٦ كجم) مبين في الشكل ١-٤- أن الأيض هو من أهم سميات الحياة فاذا كانت هناك حياة في المربخ حتى ولو في أبسط صورة وأكثرها بدائية فانها سوف تفصح عن نفسها بقدرتها على أداء وظيفة الأيض .

#### REPRODUCTION

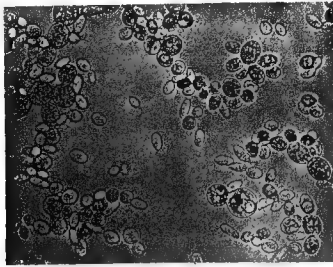
#### ٣ - التكاثر

الفكرة في تكاثر كائن حي هي التضاعف المنظم ذاتيا للتركيب المميزة له . والتكاثر يحدث عندما يأخذ الكائن مادة من بيئة أكثر مما يعطى ثم يرتب هذه المادة في شكل تراكيبه الخاصة . ونحن نسمى هذا النوع من التكاثر بالنمو growth . ولكي يفعل الكائن ذلك فان عليه أن يبذل بعض الطاقة المنطلقة أثناء الأيض وكذلك لابد أن يحتوى على المعلومات - المطبوعة في الجينات - التي توجه بناء هذه التراكيب . فاذا كنت قد درست الكيمياء فانه يمكنك أن تجادل بأن البللورات في الصخر قد نمت على الأقل مرة واحدة بنفس هذه الطريقة . فاذا وضعت بللورة في محلول من نفس وحداتها فانها تقوم بترتيب هذه الوحدات ببطء على نفس نمطها وبذلك فهي تنمو . ولكن هناك اختلافا جوهريا بين نمو البللورة ونمو الكائن الحى . فالبللورة تنمو بتراكم وحدات مماثلة لما فيها تماما من الوسط المحيط بها أما الكائن الحى فانه ينمو بتحويل المواد التي لا تشبه مكوناته إلي مكوناته . فالكلب يمكن أن يعيش على نفس المواد التي تتغذى بها . ولكنه يحول هذا الغذاء الى مزيد من «الكلب» بينما نحن نحولها الى مزيد من «الانسان» . وفي كل حالة فان النمط المميز الذى تتجمع فيه المواد الغذائية يكون محكوما بالمعلومات المطبوعة في الجينات genes .



الشكل ١-٤ . العبوة الأحيائية لسفن الفضاء فايكنج . كل المعدات اللازمة لإجراء التجارب الثلاث للكشف عن وجود الحياة معبأة في حيز يقل عن قدم مكعب واحد (بتصريح من ت . ر . و . المحدودة).

والتكاثر يشتمل أيضا على إنتاج نسخ من الكائن يمكنها أن تعيش مستقلة عنه من وقت لآخر . فجميع الكائنات الحية لابد أن تموت في يوم ما وإذا كان لنوع الكائن الحي أن يستمر فانه لابد له أن يتج نسخ من نفسه قبل أن يموت (الشكل ١-٥) . وفي النباتات والحيوانات الأقل تعقيدا فإن هذا المظهر للتكاثر يمكن إعتباره ببساطة إمتداد لعلمية النمو . فنبات الفراولة النامي يرسل سوقاً أفقية تنشأ عليها نباتات بنوية . وهذا النوع من التكاثر يسمى بالتكاثر اللاجنسي asexual لأنه لايشتمل إلا على أب واحد فقط وبصفة عامة تكون هذه النباتات البنوية مماثلة تماما للنبات الأب .



الشكل ٥-١. خلايا الخميرة تنمو في مزرعة. تتكاثر الخلايا لاجنسيا بتكوين براعم (نتج شكل 8). وتنفصل البراعم بسرعة عن الخلايا الأبوية لبدأ حياة مستقلة.

وأغلب الكائنات تقوم بعملية التكاثر الجنسي sexual وهو يتطلب أن يسهم أبوان في تكوين الكائن الجديد. فكل أب يعطى بعضاً من جيناته. ولكن أى هذه الجينات. ذلك متروك للصدفة. وانجاب أفراد جدد من تجمع الجينات بالصدفة من آباء مختلفة يسمح بإنتاج تجمعات جديدة من الصفات. وفي الحقيقة فإن نشأة التباين بين ذرية الأب الواحد هو أهم ما يحققه التكاثر الجنسي. ومن البديهي أن ينطوي التكاثر الجنسي على تعقيدات أكثر مما ينطوي عليه التكاثر اللاجنسي. فلا بد للأبوين ان يجدا بعضهما البعض ولا بد لهما أن يكونا مؤهلين للعناية بالنسل حتى يستطيع النسل أن يعتنى بنفسه.

#### RESPONSIVENESS

#### ٤- الإستجابة

تستطيع جميع الكائنات الحية أن تستجيب لبعض التغيرات (المؤثرات) في الوسط المحيط بها (الشكل ٦-١). فالتغيرات في الإضاءة والحرارة والجاذبية والصوت والكيمياء في الوسط المحيط هي مؤثرات شائعة تستجيب لها الكائنات الحية. ولكي يستجيب الكائن الحي لهذه المؤثرات لابد له من وسائل للكشف عنها. فالعيون والأذان



الشكل ١-٦. الشمبانزي المراهق يبلل ينظف أسنان باندبت بألة من فرع شجرة صنوبر بينما شادو ( واقفا ) يراقب. (بتصريح من س. أ. ج. نيوتين، و. س. مجرو).

والأنف في الكلب هي كواشف فعالة لهذه المؤثرات. وحتى تكون الإستجابة لهذه المؤثرات فعالة لابد لها من التناسق. وحتى أبسط الكائنات تتكون من أجزاء وعلى كل جزء أن يؤدي العمل المناسب في الوقت المناسب. فحين ندعو الكلب لتناول العشاء فإن بعض عضلاته لابد لها أن تنقبض بينما لابد للبعض الآخر أن ينبسط كما تبدأ غدده الهضمية في أداء مهامها وهكذا، وعلى كل جزء أن يعمل في توافق مع بقية الأجزاء.

والجهاز العصبي وجهاز من المنظمات الكيميائية يسمى بالهورمونات hormones يوجد ان هذا التناسق فيما يأتيه الكلب وحيوانات أخرى كثيرة من أفعال. أما النباتات فإنها تعتمد بالكامل في تناسقها على الهورمونات.

وتستجيب الكائنات للتغيرات في البيئة عن طريق تغير علاقتها بها. ففي سعيه نحو الطبق الذي يحتوي على وجبه العشاء يغير الكلب مكانه إستجابة إلى إشارة منك. وهذه الإستجابات التي غالباً ما تحدث في أنماط محددة تشكّل في مجملها سلوك الكائن. والسلوك إيجابي وليس سلبي. فالصخرة التي تنهار في منحدر لاسلوك لها وإنها هي واقعه ببساطة وسلبية تحت تأثير الجاذبية. بينما الكلب الجائع يعمل على تغير علاقته بالوسط المحيط به.



## EVOLUTION

## ٥- التطور

حينما تتكاثر الكائنات فإنها تكرر أنماطها بدقه عجيبة . فكلبان من نوع الجولدن ريتريفر ينجبان المزيد من كلاب الجولدن ريتريفر وليس لابدرادور ريتريفر . والصفات المميزة يتكرر ظهورها جيلاً بعد جيل في عائلة ما بسبب المعلومات (الشفرة) الموجودة على الجينات (المورثات) والتي تنتقل من جيل إلى جيل (الشكل ١-٧) . ولكن بعد عدة أجيال قد تظهر أيضاً صفات مميزة أخرى لتستقر .

وهذه التغيرات تؤدي إلى التطور التدريجي في هذا النوع من الكائنات . وفي الشكل ١-٨ توجد نملة (سفيكوميرما فرياي) سقطت في فخ وتحولت إلى الحالة الحفرية منذ مائة مليون عام . وليس هناك أدنى شك في أن هذا المخلوق هو نملة ولكنها تختلف في صفات عديدة عن كل النمل الذي يعيش على الأرض حالياً فبعض هذه الصفات



الشكل ١-٧ . غياب الخلايا المحتوية على الميتاتين من الجلد يسمى البهاق - وقد ورثت الابنة عن أبيها نفس نمط البهاق تماماً . (بتصريح من آرون ب . ليرنر) .



الشكل ٨-١. نمله عمرها مائة مليون سنة (سفيكوميرما فرياي) متحفرة في العنبر. هذا الحيوان به العديد من صفات الدبابير ويمثل الحلقة المفقودة في تطور النمل من الدبابير. وجدت هذه العينة في نيوجرسي. (بتصريح من فرانك م. كارينتر - جامعة هارفارد).

أقرب إلى صفات الدبور wasp منها إلى صفات النمل وهو ما يؤيد بقوة الاعتقاد بأن النمل قد تطور عن دبابير قديمة .

والتغيرات التطورية التي تحدث في خط تطوري غالبا تكون تأقلمية adaptive أى أنها تساعد الأجيال الناشئة على العيش في بيئتهم بكفاءة أعلى من أسلافهم . وفي الباب الثاني والثلاثين سوف ندرس مثال صارخ لهذا التطور التأقلمى وهى ظاهرة البهاق الصناعى industrial melanism ومن أكثر الحالات التى درست لهذه الظاهرة حالة استغرقت قرنا كاملا (من حوالى ١٨٥٠ إلى ١٩٥٠) حينما أصبحت الفراشات داكنه اللون جداً في المناطق الصناعية في إنجلترا . وقد تزامن هذا التغير مع الاختفاء الواسع للأشبن بسبب تلوث الهواء . فالأشجار التى تتغطى جذوعها بالأشبن تمد الفراشات

فاتحة اللون بوسيلة رائعة للمتوهية بينا الجذوع العارية عند الفراشات داكنه اللون بالتمويه المطلوب (الشكل ٢٣-١٤) . واللجوء الى وسائل الحد من تلوث الهواء في الحقب الحديثة قد سمح بعودة الأشن وفي نفس الوقت بعودة الفراشات فاتحة اللون إلى الظهور تدريجياً . وهنا إذن حالة للتغير التطوري تحدث أمام أعيننا .

والتطور يشمل أكثر من مجرد حدوث تغير تدريجي في خط تطوري واحد فهو يشمل أيضاً تزايد أنواع الكائنات حيث أن المجموعات المفردة من الكائنات تنتج نوعين أو أكثر من الذريات . وأعداد أنواع الكائنات التي تعيش على الأرض الآن أكبر من أعداد أنواع الكائنات التي كانت موجودة في بداية المليون سنة الأولى من عمر الحياة على الأرض . وعلى سبيل المثال فإن خمس تحت فصائل من النمل التي يوجد الآن بها عدة مئات من الأنواع قد انحدرت من نمل مثل السفيكوميرما . وعلى ذلك فإننا نجد أن الكائنات الحية تختلف عن الكائنات غير الحية من عدة أوجه : (١) تنظيمها التركيبي أكثر تعقيداً وتداخلاً ، (٢) يحدث فيها الأيض ، (٣) تتكاثر ، (٤) تستجيب للتغيرات في البيئة ، (٥) كل هذه الصفات تتشكل عبر الزمن بواسطة عملية التطور .

## CHAPTER SUMMARY

### ملخص الباب

تركيب الكائنات الحية معقد للغاية . وهذا التركيب يمكن دراسته عند مستويات مختلفة من التعقيد : أجهزة - أعضاء - أنسجه - خلايا - عضيات - جزيئات كبيرة - جزيئات صغيرة - ذرات . وتنظيم المادة الحية ديناميكي : هناك تبادل مستمر للجزيئات بين أجزاء الكائن الحي وكذلك بين الكائن الحي والوسط المحيط به . وهذا التبادل يسمى بالأيض . وتخليق المواد المعقدة من مواد بسيطة يسمى البناء وتكسير المواد المعقدة إلى أخرى أبسط منها يسمى الهدم . وتمتاز الكائنات الحية بقدرتها على مضاعفة التراكيب التي تنفرد بها وهذا قد يؤدي الى نمو الكائن الحي و / أو تكوين أفراد جدد أي التكاثر . في التكاثر اللاجنسي ينشأ الأفراد الجدد من أب واحد ويكون لهم نفس خصائص هذا الأب . أما في التكاثر الجنسي فيسهم ابوان بالجينات (المورثات) في النسل وعلى ذلك فقد يكون للنسل ملامح مخالفة لما لكل من الأبوين .

تستجيب الكائنات الحية لتغيرات معينة في الوسط المحيط بها تعمل كمثرات .

وهذه الاستجابة ( الإحساس ) تعتمد على التناسق في نشاطات أجزاء الكائن . وفي الكائنات الأكثر تعقيداً يتم هذا التناسق بواسطة الهرمونات (في النباتات والحيوانات) وبواسطة الأعصاب والعضلات (في الحيوانات فقط) .

تشكل خصائص الكائنات بفعل قوى التطور عبر الزمن . فالصفات التي تساعد على البقاء تحت الظروف البيئية القائمة يزداد إنتشارها على حساب تلك التي تجعل الكائن الحي أقل تأقلاً مع هذه الظروف . فالنوع الواحد من الكائنات قد يترك أحفاداً من نوعين متميزين أو أكثر . هذه إذن هي الخصائص الأساسية للكائنات الحية . وبينما تشترك جميع الكائنات في هذه الخصائص فإن كيفية التعبير عنها تختلف من كائن إلى آخر وسوف يخصص الجزء الباقي من هذا الكتاب للدراسة كيفية ممارسة الكائنات لهذه النشاطات الحيوية الرئيسية

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ — هل تبلو على لب الشمعة أية خصائص حيوية؟
- ٢ — ماهي أوجه التشابه بين النمو والتكاثر ؟ وما هي أوجه الاختلاف بينهما ؟
- ٣ — كيف يرتبط الأيض بالنمو؟
- ٤ — كيف يرتبط الإحساس بالأيض؟
- ٥ — ماهي أوجه الاختلاف بين التكاثر الجنسي والتكاثر اللاجنسي؟
- ٦ — هل يمكن لمعظم الحيوانات أن تتكاثر لاجنسيا ؟ وهل يمكن لمعظم النباتات ذلك؟
- ٧ — ماهو المؤثر؟
- ٨ — ما هي إستنتاجاتك إذا أعطت كل التجارب الموضحة في الشكل ١-٣ نتائج إيجابية ولكن بدون التحقق من وجود جزيئات عضوية في تربة المريخ ؟

## CHAPTER 2

## الباب الثاني

### Scientific Methods

### الطرق العلمية

INTRODUCTION	١-٢ . مقدمة
SCIENTIFIC OBSERVATIONS	٢-٢ . المشاهدات العلمية
SCIENTIFIC EXPLANATIONS	٣-٢ . التفسيرات العلمية
TESTING HYPOTHESES	٤-٢ . اختبار الإقتراضات
REPORTING SCIENTIFIC WORK	٥-٢ . نشر العمل العلمي
REPRODUCTIBILITY OF SCIENTIFIC WORKS	٦-٢ . قابلية العمل العلمي للتكرار
BUILDING ON THE WORK OF OTHERS	٧-٢ . البناء على عمل الآخرين
BASIC VERSUS APPLIED SCIENCES	٨-٢ . العلوم الأساسية في مقابل العلوم التطبيقية
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل
REFERENCES	المراجع



## الباب الثاني

### الطرق العلمية

#### INTRODUCTION

#### ١-٢ مقدمة

ليس هناك شيء غامض أو حتى غير عادي فيما يقوم به العلماء وقد سميت الطرق العلمية لأن هناك طرقا مختلفة لتناول المسائل العلمية وإن كانت جميعها تتطلب اللجوء إلى المنطق السليم . وفيما عدا ذلك فإن لهم سمات مميزة وإن كانت غير مقصورة على العلم وحده ومن بينها الدقة البالغة في الحكم على البراهين . وميزة أخرى للعلماء هي أن لديهم قدرا كبيرا من تحمل الشك فقد يعمل العلماء لسنوات عديدة بل أحيانا طوال حياتهم محاولين فهم مسألة علمية ما . وعادة يترتب على ذلك تراكم الكثير من الحقائق التي تظل لفترة بدون تفسير واضح بل والتي قد تبدو مؤيدة لتفسيرات متعارضة .

حين ينصت المرء إلى العلماء وقد احتدم الجدل بينهم للدفاع عن آرائهم حول ظاهرة علمية فإن ثقتهم في صحة ما ذهبوا إليه تبدو مطلقة . ولكنهم يدركون في أعماق قلوبهم أن آراءهم مبنية على إحتيالات وأن دليلا جديدا قد يظهر في أى وقت من الأوقات ليبدل كثيرا من هذه الآراء . وعلى الرغم من أن العلماء لا يبتكرون ميزة العمل الشاق لأنفسهم إلا أنهم على إستعداد للعمل ساعات وسنوات طوال بحثا عن حل لمشكلة علمية . فالعلم عمل شاق وعلى كل من يرغب في الانخراط في العمل العلمى أن يكون مستعدا أولا للالام بأساسيات الموضوع وثانيا لتقبل بعض التوترات - التي قد يلفظ من مفعولها بعض السعادة - المصاحبة لاستبظهار بعض الحقائق من الطبيعة .

وعلى الرغم من أن الطرق العلمية مختلفة بقدر إختلاف العلوم نفسها إلا أن هناك نمط يتبعه العلماء في عملهم . فالتقدم العلمى يبدأ بالملاحظات . ومع ذلك فإن العلم

أكبر من مجرد قائمة حقائق . فهدف العلم هو البحث عن تفسير لماذا كانت هذه الحقائق كذلك . وبمجرد الحصول على هذا التفسير - مهما كان أولياً - فإن واحدة من أكثر مراحل العمل العلمى إثارة قد بدأت . ألا وهى مرحلة التنبؤ بها يجب مشاهدته تحت ظروف لم تحتبر بعد إذا كان هذا التفسير صحيحاً . فإذا سارت كل الأمور على ما يرام فإن التنبؤات تصدق وحينئذ يمكنك الإعلان عما قمت به وما وجدته على المجتمع العلمى ثم تحبس أنفاسك لترى إن كان بمقدور علماء آخرين أن يؤكدوا ماتوصلت إليه . فإن استطاعوا ذلك ( وغالباً حتى لو لم يستطيعوا ) فإن المجال أصبح مفتوحاً لمزيد من المشاهدات والتفسيرات الأكثر دقة .

دعنا الآن ندرس بالتفصيل هذه الخصائص المميزة للعملية العلمية . وكمساعدة على مزيد من الفهم فإننا سنرى كيف تنطبق هذه الخطوات على مثال محدد لعمل علمى .

## ٢-٢ . المشاهدات العلمية SCIENTIFIC OBSERVATIONS

المشاهدات - الحقائق - هى المادة الخام للعلم . مقاسات سلسلة من الحفريات هى مشاهدات . ومجمل صفات الأفراد لنوع ما مشاهدات والقراءات المأخوذة من أحد الاجهزة في المعمل مشاهدات . دعنا الآن نستكشف إحدى المشاهدات التى قد تكون جمعتها بنفسك . فالكثيرون من الناس يصابون بأمراض الحساسية عند ملامسه بعض الكيماويات لجلودهم . ومثال سىء لذلك هو الحساسية التى تسببها مادة الأوروشبول الموجودة في نباتات من جنس *Rhus* بها فيها الأيفى السام والبلوط السام والسوماك السام . الأوروشبول في حد ذاته ليس ساماً مثل بعض المبيدات الحشرية إذ أن بعض الناس يمكنهم ملامسته دون أن يلحق بهم أذى ولكن القصة تختلف تماماً بالنسبة لأولئك الذين يعانون من الحساسية لهذه المادة . فبعد ملامسة النبات ( أو حتى أى شىء يكون قد لامس النبات ) بحوالى ٢٤ ساعة يبدأ جلد المصاب في الإحمرار ويشعر المصاب برغبة شديدة في حك الجلد كما تظهر غالباً قروح مائية على الجلد . وبعد عدة أيام غير مرجحة يتألم المصاب للشفاء . هذا مثال لحالة من حالات الحساسية :

استجابة مؤذية من جهاز المناعة بالجسم مادة غير مؤذية في الأحوال العادية ( جهاز المناعة موصوف فى الباب ٢٤ ) . وهذا النوع بالذات من الحساسية يسمى



## حساسية اللمس contact sensitivity.

وبينما الحساسية للأيفى السام هي أكثر أنواع الحساسية إنتشاراً في أمريكا الشمالية فإن هناك أنواعاً أخرى من المواد الكيميائية تحدث أيضاً حساسية اللمس . والمعادن (مثل النيكل) الموجودة في الحلى غالباً ما تسبب مشاكل للعاملين في الصناعات الكيميائية . ماذا يمكن أن نفعله لمساعدة ضحايا حساسية اللمس ؟ الطريقة الأوضح وهي كذلك أكثر الطرق فاعلية هي تجنب العامل المسبب للحساسية . ولكن ذلك غير ممكن دائماً . فما هي الطرق الأخرى التي يمكن أن نساعدهم بها ؟ من هذه الطرق استخدام بعض العلاجات مثل الدهان لترى إن كان أحدها يمكن أن يخفف من أعراض الإصابة وهذه هي الطريقة المبدئية . وفي تاريخ الطب أمثلة عديدة لعلاجات تم التوصل إليها بالطريقة المبدئية أى بالتجربة والخطأ . طريقة ثانية هي إيجاد علاج يهاجم سبب المشكلة ولكن لكى نتجح في هذه الطريقة لابد لنا أن نعرف هذا السبب . ومن بين المشاكل المتعلقة وبالحرب على السرطان» في الولايات المتحدة أنه ليس هناك حتى الآن من لديهم فهم واضح لما يجعل الخلية سرطانية ولاحتى لما ينظم نمو الخلية العادية .

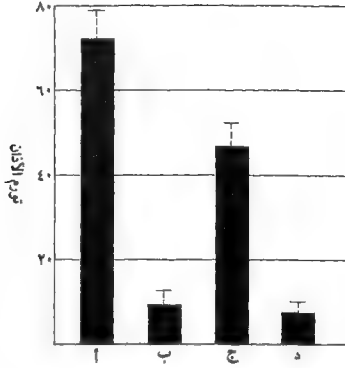
من أجل التوصل إلى حل منطقي لمشكلة حساسية اللمس فانه لزاماً علينا أن نعرف المزيد عنها . وهذا يعنى إجراء التجارب . ولأن قليلون من البشر هم الذين لديهم إستعداد كى يكونوا محل تجريب في مثل هذا البحث فان علماء الطب غالباً ما يعمولون إحداث أمراض في حيوانات التجارب التي لها بعض الشبه بالانسان . وقد طور الدكتور هنرى كلامان والدكتور جون مورهد ومساعد وهما نموذج لحيوان مصاب بحساسية اللمس في معامل كلية الطب بجامعة كولورادو . هَذَا الحيوان التجريبي هو الفأر . إستخداموا لذلك مركب داينتروفلوروبترين (DNFB) وحينما توضع قطرة من DNFB (مذابة في الأسيتون وزيت الزيتون) على جلد الحيوان فانه لا يحدث أى تغير ملحوظ وذلك لأن هذا المركب في حد ذاته ليس ساماً أو كاوياً . ومع ذلك فإن دهان الجلد بهذا المركب يجعل الحيوان حساساً له . وبعد بضعة أيام إذا وضع المركب مرة ثانية على الجلد (وهو ما يعرف بالتحدى challenge) يسبب تغيرات في الأنسجة تكون عميقة لحساسية اللمس بها في ذلك حدوث ورم . وكان هؤلاء الباحثون يغطون مساحات (حوالى ٣ سم<sup>٢</sup>) من الجلد المحلوق بإداة DNFB



الشكل ٢-١ المعاملة بزيادة  
(دايتروفلوروزين). بعد  
بضعة أيام تظهر على الفأر  
علامات الحساسية عند  
معامليته مرة ثانية بنفس  
المادة. هذه الظاهرة تسمى  
حساسية اللمس.  
(بتصريح من د. جون و.  
مورهد)

بصفة دورية عند منطقة البطن (شكل ٢-١) كما كانوا يتحدون الحيوانات بوضع  
قطرات من المحلول عند كل أذن حيث كانت الأذان تتورم في الحيوانات الحساسة تماماً  
كما يحدث لي أولك إذا ما مسحت ورقة من نبات الأفي السام عليها.

وهكذا فان لدينا الآن حيواناً نموذجياً كي نحاول معرفة المزيد عن حساسية اللمس  
ومن أول ما اكتشفه هؤلاء الباحثين أن حقن نفس المادة (في صورة قابلة للذوبان في  
الماء) يمنع الإصابة بحساسية اللمس (والدراسون للحساسية يجدون أحياناً أن البشر  
المصابون بالحساسية يمكن علاجهم بحقنهم بنفس المادة المسببة للحساسية). وبعد  
الحقن بهذه المادة بمدة أسبوع ذهنت بطون الفئران بزيادة DNFB وبعد ذلك بأربعة أيام  
وضعت قطرات منها على آذانهم وفي هذه المرة لم يظهر سوى ورم طفيف أو لم يظهر أى  
ورم بالمرة (الشكل ٢-٢). لقد أصبحت الفئران الآن أكثر تحملاً لهذه المادة  
الكيميائية. ومع ذلك فإذا مضى يومان فقط بين الحقن ودهان البطن فان بعض الورم  
يظهر عند تحدى الآذان وإن كان أقل منه في الحيوانات المصابة بالحساسية. وحينما يرى  
المرء تأثيرات جزئية فانه كثيراً ما يرغب في قياسها ولذلك إستخدم الباحثون الميكرومتر  
وهو آلة هندسية لقياس السمك بدقة (الشكل ٢-٣).



الشكل ٢-٢ اختزال  
جزئي (المجموعة ج) وكلي  
(المجموعة ب) في ورم  
الأذن نتيجة للمعاملة  
السابقة للفئران بصورة قابلة  
للإبواب من المادة المسببة  
للحساسية.

أ- بدون معاملة سابقة (مجموعة قياسية موجبة)

ب- معاملة ٧ أيام قبل التحسيس.

ج- معاملة قبل التحسيس بيومين.

د- بدون معاملة سابقة وبدون تحسيس (مجموعة قياسية سالبة).



الشكل ٢-٣. يمكن  
قياس درجة تورم الأذن بدقة  
باستخدام الآلة المسماة  
ميكرومتر. (بتصريح من د.  
مورهيد).

وحتى مع استخدام سلالات من الفئران تم تهجينها بعناية فإن هناك إختلافات فردية في إستجابتهم . ولذلك فإن التجارب جيدة التصميم يجب أن تشمل على أعداد كافية من الحيوانات لكي تكسب الباحثين ثقة في أن مشاهداتهم ليست محض مصادفة . وفي هذه الحالة فقد تم استخدام ٦ فئران في كل مجموعة تجريبية والتجربة جيدة التصميم يجب أن تشمل كذلك على مجموعة قياسية control واحدة أو أكثر . وفي هذه التجارب كانت هناك ثلاث مجموعات قياسية :

- ١ - مجموعة من الفئران لم تتلق المعاملة التجريبية (الحقن في الوريد) ولكن تم تحسيسها وتحديها . هذه الحيوانات (وتسمى القياسية الموجبة) تتوقع أن تعطى أعلى إستجابة ممكنة للحساسية فإذا لم تفعل فإن أى نقص في درجة الورم في المجموعة التجريبية يكون مشكوكا في أهميته ربما لأن المركب المستخدم في التحسيس والتحدى قد تحلل .
- ٢ - مجموعة أخرى من الفئران دُهنَت آذانها بمادة DNFB دون أن يسبق تحسيسها بهذه المادة . وهذه المجموعة من الفئران القياسية السالبة سوف تبين ببساطة مقدار الورم الناتج عن دهان الآذان بهذه المادة .
- ٣ - من المحتمل أن يكون الحقن بهذه المادة قد جعل الفئران حساسة لأى مادة كيميائية . وتحسباً لذلك فإن مجموعة قياسية ثالثة قد حقنت بهذه المادة ثم تم تحسيسها وتحديها بنفس المادة مع مادة أخرى لا علاقه لها بها . وقد وجد الباحثون أن القدرة على التحمل كانت نوعية . فالفئران التى تحتمل مادة DNFB أبدت رد فعل عادى من ورم الآذان نحو المادة الثانية .

بسبب التباين الفردى فإن المقدار الدقيق للورم يمكن أن يختلف من فأر الى آخر . كيف يمكن إذن تحليل البيانات المتراكمة ؟ الخطوة الأولى هى حساب متوسط الورم الذى حدث في كل أفراد المجموعة الواحدة وذلك بجمع كل قراءات الميكرومتر وقسمة المجموع على عدد هذه القراءات . القراءات ٤٦ ، ٤٢ ، ٤٤ ، ٤٥ ، ٤٣ تعطى متوسطا مقداره ٤٤ . ولكن القراءات ٥٢ ، ٨٠ ، ٢٢ ، ٣٠ ، ٣٦ تعطى نفس المتوسط . ويدعى أن الباحث يثق أكثر في المتوسط الذي حصل عليه من المجموعة الأولى من القراءات عن ذلك الناتج من المجموعة الثانية . ومن حسن الحظ أنه يمكن حساب الانتشار في مجموعة من البيانات . والطريقة الشائعة لذلك هى حساب الانحراف

القياسي للمتوسط (SR) باستخدام المعادلة .

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}}$$

حيث  $(X - \bar{X})^2$  هي مربع الفرق بين كل قراءة فردية (X) ومتوسط كل القراءات  $(\bar{X})$  و  $\sum$  هي مجموع كل هذه الفروق و n هو عدد القراءات الفردية . وكلما زاد الانحراف القياسي كلما اتسع مجال الابتعاد بين القراءات الفردية والمتوسط الحسابي . وفي الشكل (٤-٢) يتضح أن الانحراف في حالة المجموعة الأولى هو ٤ ، ١ بينما في حالة المجموعة الثانية هو ٥ ، ٢٠ .

X	$\bar{X}$	$(X - \bar{X})$	$(X - \bar{X})^2$	X	$\bar{X}$	$(X - \bar{X})$	$(X - \bar{X})^2$
46	44	2	4	52	44	8	64
42	44	-2	4	80	44	36	1296
44	44	0	0	22	44	-22	484
45	44	1	1	30	44	-14	196
43	44	-1	1	36	44	-8	64
$\bar{X} = 44$			$\Sigma = 10$	$\bar{X} = 44$			$\Sigma = 2104$
$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}} = 1.4$				$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}} = 20.5$			

الشكل ٤-٢ . حساب المتوسط  $(\bar{X})$  والانحراف القياسي (SR) لمجموعتين من القراءات . وبالرغم من أن المتوسط لهما واحد إلا أن الانحراف القياسي يختلف كثيرا .

وفي العمل العلمي فانه عادة ما يشار بطريقة أو بأخرى إلى مدى تذبذب القراءات المسجلة حول المتوسط الحسابي . وعلى سبيل المثال فانه يمكن تمثيل المتوسط برسم بياني تتضح فيه قيم الانحراف القياسي التي تتراوح ما بين -١ ، +١ . وإذا درست علم الاحصاء فانك سوف تعلم أنه يمكن أيضا حساب درجة الثقة التي يمكن أن تضعها في مجموعة من البيانات . وبينما لا نستطيع أن نتطرق هنا إلى إثبات ذلك فان هناك احتمال أن ٦٨٪ من القيم الحقيقية لأي تأثير نقيسه تقع في مدى إنحراف قياسي ما بين -١ ، +١ . وحيث أن هذه النسبة ليست عالية بالقدر الكافي فان بعض الباحثين يفضل أن يوسع هذا المدى لكي تصبح درجة الثقة ٩٠٪ من وجود القيم الحقيقية في هذا المدى . وهو تقريبا ما بين -٢ ، +٢ إنحراف قياسي عن المتوسط . والباحثون في الدراسة التي نحن بصلدها قد عبروا عن نتائجهم في حدود درجة الثقة ٩٥٪ (الشكل ٢-٢) .

## SCIENTIFIC EXPLANATIONS

## ٣-٢ التفسيرات العلمية

ما الذي يمكن أن يفسر حقيقة إكتساب الفئران للمناعة عند حقنهم بإبادة كيميائية تسبب لهم في الظروف العادية حساسية اللمس؟ هناك عدة تفسيرات محتملة لذلك . فربما تكون الحقن قد دمرت بعض مكونات الجسم الضرورية لحدوث حالة الحساسية . أو ربما تكون الحقن قد تسببت في إنتاج شيء يعطل قابلية الحيوان للإصابة بالحساسية لهذه المادة . كل من هذين التفسيرين ليس إلا إفتراض . في هذه الدراسة إختار الباحثون أن يتابعوا الافتراض الثاني أى الذي يفترض أن المناعة (أو التحمل) هي تعطيل وتثبيط للعمليات التي تتسبب في ظهور الحساسية . كيف يمكن إختبار هذا الافتراض ؟

## TESTING HYPOTHESES

## ٤-٢ إختبار الافتراضات

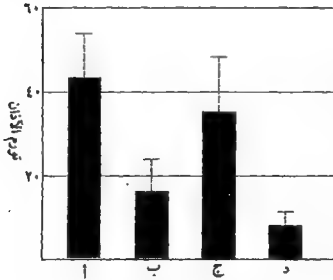
إذا كانت المناعة هي تعطيل فعال فإن للمرء أن يتوقع وجود شيء في الفأر المنيع يمكن أن يجعل بقية الفئران منيعة كذلك . هذا التوقع يمكن إختباره بحقن هذا الشيء في فئران عادية وملاحظة إن كانت هذه الفئران قد أصبحت أقل حساسية لمادة DNFB . ولكن ما هو هذا الشيء؟ لقد قرر الباحثون تجربة شيئين مختلفين هما : (١) مصّل الدم و (٢) خلايا مأخوذة من العقد الليمفاوية لحيوانات منيعة . لقد فكروا أن العامل المثبط إما أن يكون مادة قابلة للذوبان تجد طريقها إلى الدم أو أن يكون مجموعة من الخلايا في جهاز المناعة تتسبب في حدوث الحساسية . ولأن العقد الليمفاوية هي جزء فعال من جهاز المناعة (انظر الباب ٢٤-١) فقد قرروا إختبار قدرة خلايا العقد الليمفاوية على إحداث المناعة ضد DNFB .

كانت خطوات تجربتهم على النحو التالي . حقنوا عدداً من الفئران بإبادة DNFB لإحداث المناعة فيهم ضد هذه المادة وبعد ٧ أيام أخذوا منهم إما مصّل الدم أو خلايا العقد الليمفاوية وحقنوها في فئران عادية . ثم تم تحسيس هذه الأخيرة (بدهان بطونها بإبادة DNFB) وتحديداً بعد ذلك بخمسة أيام (بدهان آذانها بإبادة DNFB) وكما حدث في التجارب السابقة فقد كانت هناك حيوانات قياسية : (١) حيوانات لم تحقن الا بالمصل

ولا بالخلايا (حيوانات قياسية موجبة تتوقع أن تعطى أعلى درجة من الحساسية) - (٢) حيوانات لم تتلق أى معاملة حتى دهان آذانها بمادة DNFB (حيوانات قياسية سالبة لا يظهر بها تورم الأذن كنتيجة للحساسية).

الشكل (٢-٥) يوضح نتائج هذه التجارب وكما ترى فإنه يبدو أن الحقن بخلايا العقد الليمفاوية من حيوانات منيعة قد أسبغ المناعة على الحيوانات المحقونة كما يبدو أن الحقن بمصل الدم من الحيوانات المنيعة لم يحدث أثراً يذكر . وقد إستخدمت في الحالتين عبارة «يبدو أن» لأنه من المحتمل أن الصدفة وحدها هي التي أنتجت التأثير الكبير الواضح في فئران المجموعة (ب) واختفاء أى أثر واضح في فئران المجموعة (ج). وإحتال حدوث ذلك يعتمد على أشياء منها حجم العينة (٦ فئران في كل مجموعة) والتذبذب في القراءات الفردية حول المتوسط . وهناك عدة طرق إحصائية لمقارنة مجموعتين من النتائج مثل أ مع ب أو أ مع ج.

والسؤال المطروح في كل هذه الطرق هو: ما هو إحتال أن يكون الاختلاف في المشاهدات مرده إلى الصدفة وحدها ( أى أن المعاملات التجريبية لم يكن لها أى أثر في



- أ - بدون حقن بالخلايا (مجموعة قياسية موجبة).  
 ب - محقون بخلايا العقد الليمفاوية من حيوانات مقاومة.  
 ج - محقون بمصل من حيوانات مقاومة.  
 د - بدون حقن بالخلايا وبدون تحسيس (مجموعة قياسية سالبة)

الشكل ٢-٥ . يمكن جعل الفئران العادية منيعة للاصابة بحساسية اللمس لمادة DNFB إذا حقنت بخلايا العقد الليمفاوية من فئران منيعة هذه المادة. أما نقل مصل الدم فليس له نفس التأثير. وبذلك على أن المناعة ضد المادة المسببة للحساسية تنتقل مع الخلايا (تسمى الخلايا المثبطة). هذه اليبسائسات من بحث منشور لقانونفوك وآخرين عام ١٩٧٤.

الواقع ؟ والإفتراض بأن المعاملات التجريبية لم يكن لها أثر معروف باسم إفتراض الصفر. ويشعر الكثير من الباحثين بأنه إذا كان الإحتال (يرمز له بالرمز  $P$ ) يحدوث الاختلاف المشاهد أقل من ١ في كل عشرين ( $P = < 0.05$ ) فإن إفتراض الصفر يكون ملغياً ويكون الاختلاف المشاهد حقيقياً. وإذا كان الاحتمال أكبر من 0.05 فإنه عادة ما يعتبر الاختلاف غير حقيقي .

## ٥-٢ نشر العمل العلمي REPORTING SCIENTIFIC WORK

العلم نشاط مستمر وفي الحقيقة لا نبالغ إذا قلنا إن العلم الذي يدرس في السريس علماً بالمرّة. ولا تصبح الحقائق والافتراضات الجديدة جزءاً من العلم إلا عندما يعلم بها المجتمع العلمي. لذا كان توصيل العمل العلمي إلى كل من يهمه الأمر من أهم مسؤوليات العلماء. وغالباً ما تكون الخطوة الأولى في هذا السبيل حينما يجتمع العلماء مع بعضهم. ومع ذلك وحتى نضمن للعمل العلمي موقعا دائما في البناء العلمي فإن ذلك العمل ينشر على هيئة ورقة تقدم إلى إحدى المجلات العلمية. وعادة لا تقبل هذه الورقة للنشر إلا بعد إجازتها من عدة علماء مرموقين من معامل أخرى يقومون بدور المحكمين. وغالباً ما يقترح هؤلاء المحكمون بعض التعديلات على الورقة أو حتى إجراء المزيد من التجارب قبل قبول الورقة للنشر. وفي مجالات علوم الحياة عادة ما يتبع أسلوب تنظيمي معين في كتابة الأوراق حيث تقسم الورقة إلى عدة أقسام هي :

- ١- المقدمة. هذا القسم من الورقة يصف الموضوع أو المشكلة التي تناولتها الدراسة (في هذه الحالة : هل يمكن نقل المناعة إلى الحيوانات ؟ وإذا كان ذلك ممكناً فبماذا). تشمل المقدمة ذكر التقارير والبحوث السابقة لنفس العلماء ولغيرهم والتي كانت بمثابة الأساس بالنسبة لعملهم.
- ٢- المواد والطرق. هنا توصف المواد المستخدمة بكل دقة (مثل نوع الفئران ومصدر المواد الكيميائية) والطرق المتبعة (مثل المنطقة المدهونة من الجلد). والغرض من هذا القسم هو إعطاء الباحثين في المعامل الأخرى كل التفاصيل التي تلزمهم إذا مارغبوا في إعادة نفس التجارب بكل دقة. وعندما تكون هناك طرق عديدة ومعقدة فإنه من المقبول ذكر الأوراق المنشورة سابقاً وبها كل تفاصيل هذه الطرق.
- ٣- النتائج. هنا يذكر المؤلفون ما حدث في تجاربهم نثراً ولكن عادة ما يكون ذلك مصحوباً بالرسوم البيانية والجداول والصور وما إلى ذلك.



٤- المناقشة . في هذا القسم يوضح المؤلفون أهمية ما توصلوا إليه وهنا كذلك يوضحون إلى أي مدى تتفق نتائجهم مع بعض الافتراضات أو تعارضها مع افتراضات أخرى كما يذكر إن كانت النتائج متعارضة مع نتائج تجارب مشابهة أجريت في معامل أخرى كما يمكنهم محاولة تعليل أسباب هذا التعارض .

٥- الشكر . في هذا الجزء الموجز والهام يتوجه المؤلفون بالشكر إلى كل من ساعدهم في هذا البحث . ويشمل ذلك الفنيين (الذين من الممكن أن يكونوا قد أجروا معظم التجارب فعلاً) والعلماء الآخرين الذين أمدوهم ببعض المواد والنصائح وغالباً الشخص الذي قام فعلاً بأعداد النص للنشر .

٦- المراجع . توجد في هذا القسم قائمة دقيقة بكل المراجع التي ذكرت في متن الورقة وأغلب هذه المراجع يكون في صوره أوراق أخرى . وتشتمل المراجع على كل التفاصيل التي تمكن أي شخص من العثور عليها . وهذا يعني أن كل مرجع يجب أن يشتمل على اسم المؤلف أو أسماء المؤلفين والمجلة أو الكتاب الذي نشر فيه الموضوع ورقم العدد من المجلة التي نشرت فيها الورقة ورقم الصفحة التي تبدأ الورقة بها . وأحياناً يذكر كذلك العنوان الكامل للورقة إلا أن بعض الأوراق العلمية قد تحمل عناوين تبلغ من الطول ما يؤدي إلى التفاضى عن العنوان في قائمة المراجع .

٧- الملخص أو الموجز . هذا القسم يشتمل فقط على خلاصة الأقسام السابقة وينبغي أن يكون مختصراً بقدر الامكان وينقل للقارئ الهدف من التجارب والنتائج وأهمية ما أمكن التوصل إليه . وغالباً ما يأتي الملخص في بداية الورقة وليس في نهايتها .

## ٦-٢ قابلية العمل العلمي للتكرار REPRODUCIBILITY OF SCIENTIFIC WORK

الخاصية الوحيدة المميزة للعلم هي قابليته للتكرار . فإذا لم يتمكن العلماء من تكرار الحصول على النتائج الأولى يصبح لزاماً عليهم أن يعتبروها عديمة القيمة . وتتكرر هذه المشكلة بكثرة مدهشة . ويرجع سببها عادة إلى عامل لم يؤخذ في الاعتبار أثناء التجربة . وبالتالي لم يمكن التحكم فيه . ويقدر من حسن الحظ فإن العلماء اللذين أجروا التجارب يكشفون بأنفسهم عدم قابلية نتائجهم للتكرار وهذا هو السبب الذي يجعل العلماء يعيدون تجاربهم عدة مرات قبل نشرها في ورقة علمية . وفي حالات أخرى

لا يستطيع الباحثون في معامل أخرى الحصول على نفس النتائج الواردة في بحوث منشورة . وعندما يحدث ذلك فإن على كل الأطراف أن يجتمعوا معاً للبحث عن سبب اختلاف النتائج التي توصلوا إليها وغالباً ما يكون ذلك بسبب عدم إستعمال نفس المواد والطرق بالضبط . ومع ذلك فأحياناً يتم اكتشاف عيب جوهري في تصميم أو إجراء التجارب وفي أحيان أخرى لا يمكن الوصول إلى سبب نجاح التجارب مرة وفشلها مرة أخرى . وعلى أى الأحوال فإن الفشل في تأكيد النتائج يتم نشره أيضاً . وبينما يسبب ذلك حرجاً شديداً للباحثين الأصليين فإنه يمثل أحد أهم أوجه القوة في العلم : نظامه الداخلي للتصويب الذاتي .

وفي أغلب الحالات يرجع عدم قابلية النتائج للتكرار إلى خطأ غير مقصود وفي حالات نادرة لا يمكن تكرار النتائج لأنها ملفقة . وهذا بالطبع شيء مفرع للجميع . فإذا أصبح هذا التلقيق معروفاً على نطاق واسع فإنه قد يتسبب في قدر كبير من إثارة الجماهير . ولكني أعتقد أن مثل هذه الانحرافات النادرة تبين بوضوح تام القوة الهائلة للعلم بدلاً من أن تلقي بظلال من الشك حول العمل العلمي . وليس من بين النشاطات البشرية ما يتم فيه إكتشاف وتصحيح الأخطاء بالسرعة التي يتم بها ذلك في مجال العلوم . وإني لوائى أنه يمكنكم تذكر عدداً من مجالات النشاط البشري وقعت فيه أخطاء مرت لسنوات طويلة دون تصحيح وسببت أذى كبيراً . فالعلماء الملققون لا يؤذون إلا أنفسهم كما يلحق بهم العار وتنتهي حياتهم العملية ويظل العلم في تقدم بنفس السرعة أو أسرع من ذي قبل .

## ٧-٢ البناء على عمل الآخرين . BUILDING ON THE WORK OF OTHERS

نادراً ما ينبثق إكتشاف علمي مفاجيء تماماً وحينما يحدث ذلك فإنه يخلق ثورة في مفهوم العلماء لهذا العالم المحيط بهم كما يفتح أفقاً جديدة بالكامل للبحث العلمي . ونظرية التطور لداروين وقوانين مندل للوراثة (الباب ١٠) هي أمثلة لمثل هذه التطورات الثورية .

ولكن أغلب العلم عبارة عن إضافة لبنة جديدة إلى الصرح الذي شيده السابقون ببطء وكثير من المشقة . وفي الواقع فإنه يمكن التوصل إلى شجرة العائلة التي تنتسب

تاريخ أي إكتشاف علمي ( بما في ذلك إكتشافات داروين ومندل إلى حد ما ) والأسلوب العلمي في البناء على ماعمله الآخرون ليس إلا مظهراً آخر يوضح كيف أن العمل العلمي عمل جماعي .

وظهور تقنية جديدة غالباً ما يضع الأساس لتطورات متلاحقة في دروب علمية مختلفة . خذ مثلاً التقدم الذي حدث في علوم الحياة عند إكتشاف المجهر الضوئي وفيما بعد المجهر الأليكتروني . وفي الأبواب التالية سوف تعلم عن الكثير من الوسائل التجريبية الأخرى . وقد نشأت كل منها في محاولة لحل مشكلة معينة ومع ذلك فقد تولاهها علماء في معامل أخرى وشرعوا في تطبيقها لحل مشاكلهم .

وبالمثل فإن ظهور تفسير ( أو افتراض ) جديد في أحد المجالات العلمية يحفز العلماء في المجالات المرتبطة به إلى إعادة النظر في دراساتهم على ضوء الأفكار الجديدة . نظرية التطور لداروين على سبيل المثال كان لها تأثير ضخم على كل التخصصات التي تدخل في نطاق علم الأحياء وبعض التخصصات الأخرى كذلك . ولا يزال العلماء في مجالات متباعدة مثل الكيمياء الحيوية وسلوك الحيوان يسترشدون في عملهم بنظرية التطور الى يومنا هذا .

## ٢-٨ العلوم الأساسية في مقابل العلوم التطبيقية .

BASIC VERSUS APPLIED SCIENCES.

التمييز بين علوم أساسية وعلوم تطبيقية تميز بين الأهداف أكثر منه تمييز بين الوسائل . فكل القواعد والمعايير التي ناقشناها تنطبق على كل منهما . ومع ذلك فإن الدافع وراء كل منهما قد يختلف بعض الشيء . فالباحثون في العلوم التطبيقية لديهم مشاكل عملية يبحثون عن حلول لها . وأغلب البحوث الطبية والزراعية تطبيقية . وعلى الجانب الآخر فإن الباعث على إجراء بحوث في العلوم الأساسية هو حب الاستطلاع - الرغبة في معرفة المزيد عن كيفية عمل الطبيعة .

وكلا النوعين من البحوث ليس فقط مهنة شريفة وشاققة بل إنها يعتمدان على بعضهما البعض . فالعلوم التطبيقية لا تلبث أن تفقد قوة إندفاعها لولا ما تغذيها به

العلوم الأساسية بصفة دورية من أفكار واكتشافات. ( يذكر البعض أن المصباح الكهربائي لم يكن ليكتشف في معامل البحوث الملحقة بمصنع للشموع). وفي المقابل فإن الكثير من البحوث الأساسية يعتمد على ما يتم تطويره من معدات وأجهزة وفي الغالب لا يتم ذلك إلا في معامل مخصصة للبحوث التطبيقية.

يعتمد البحث حالياً في العلوم البيولوجية إلى حد كبير على الأجهزة ( مثل المجهر ومقياس الأس الهيدروجيني ) وعلى المبادئ والوسائل المعمول بها في مجالات الكيمياء والفيزياء . والحقيقة هي أننا لا يمكن أن نكتسب إلا فهماً سطحياً للغاية لمعنى الحياة ما لم يكن لدينا بعض المعرفة بالأسس الكيميائية والفيزيائية للحياة وهذا بالتأكيد صحيح بالنسبة لعلماء وظائف الأعضاء وعلماء الأحياء الدقيقة وغيرهم من العاملين في المعامل. ولكنه صحيح أيضاً بالنسبة لعلماء الأحياء العاملين خارج المعامل أو من كانوا يسمون «الطبيعيين» في السنوات التي خلت. وزملائي الذين يعملون خارج المعامل في هذه الأيام عليهم الاعتماد على المعلومات والوسائل الكيميائية تماماً كزملائي الذين يشاركونني العمل، علماء تطور الأحياء عليهم الآن البحث عن أدلة كيميائية تقودهم إلى العلاقات التطورية بين الكائنات الحية، الدراسون لسلوك الحيوان يجدون العديد من الاشارات الكيميائية التي تتفاعل بها الحيوانات والنباتات مع بعضها، هؤلاء الذين تتسع إهتماماتهم لتشمل كيفية عمل نظم بيئية بأكملها يجدون أن أي تحاليل مفيدة تستعصى عليهم حتى يبدؤوا في استخدام الأجهزة والوسائل الكيميائية والفيزيائية. لماذا إذن التأخير؟ فلنركز إنتباهنا الآن على بعض المبادئ الكيميائية والفيزيائية الأساسية التي تبنى عليها الحياة.

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

تبدأ كل الأعمال العلمية بالملاحظات: حقائق الطبيعة. ومحاولة وضع شرح لماذا تكون هذه الحقائق على هذا النحو هي الإفتراض. والإفتراض هو تفسير أولي يمكن إختباره في مواقف جديدة. وغالباً ما يتطلب الاختبار تصميم وإجراء تجارب. وكل تجربة لابد أن تصمم بعناية وأن تشمل على قياسات Controls وحينما تتجمع بيانات كمية فينبغي تحليلها إحصائياً حتى يمكن حساب إحتيال أن تكون النتائج ليست وليدة الصدفة وحدها.

إذا لم تكن النتائج هي ما تنبأنا به على أساس الافتراض فإن الافتراض يكون غير ذي قيمة. أما إذا كانت النتائج هي ماتنبأ به الافتراض فإن ثقة المرء تزداد في صحة هذا الافتراض. وكلما زادت الثقة في صحة الافتراض كلما بدأنا نشير إليه كنظرية أو حتى كقانون. ولكن حتى قوانين العلم تكون دائماً معرضة لمزيد من التحسين ولذلك فبينما يتضح أن بعض التفسيرات العلمية عديمة القيمة (أو خاطئة) فإنه لا يمكن أبداً إثبات أنها صحيحة على وجه الإطلاق.

ولابد من نشر المشاهدات والافتراضات الجديدة حتى تصبح جزء من العلم وغالباً مايكون ذلك في صورة ورقة علمية. والورقة العلمية لابد أن تشتمل على المعلومات اللازمة للعاملين في معامل أخرى حتى يستطيعوا أن يكرروا العمل المنشور.

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١- احسب المتوسط ( $\bar{X}$ ) والانحراف ( $SD$ ) للمجموعة الآتية من القراءات: ١,٣ - ١,٥ - ٠,٩ - ٢,٦ - ٠,٨ - ١,١.
- ٢- اقرأ ورقة علمية قصيرة ثم أكتب بنفسك موجزاً لها.

## REFERENCES

## المراجع :

- 1- SCHEFLER, W.C., Statistics for the Biological Sciences, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1969.

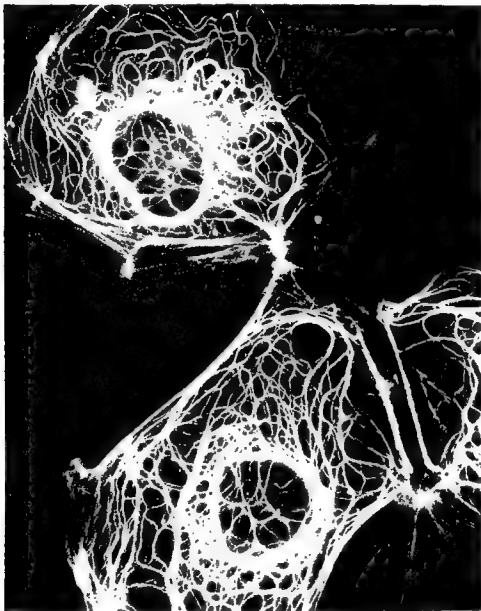


## PART II

## القسم الثاني

### THE ORGANIZATION OF LIFE

### تنظيم الحياة



تنظيم خيوط الكرياتين في خليتين حيوانيتين. (عن أوزبورن وآخرين ١٩٨٠).





## CHAPTER 3

## الباب الثالث

### الأسس الكيميائية للحياة : مبادئ

### THE CHEMICAL BASIS OF LIFE : PRINCIPLES

#### FORMS OF MATTER

١-٣ صور المادة

SEPARATING THE COMPONENTS OF A MIXTURE

فصل مكونات مخلوط

PURE SUBSTANCES

المواد النقية

#### ELEMENTS

٢-٣ العناصر

#### ATOMS

٣-٣ الذرات

STRUCTURE OF THE ATOM

تركيب الذرة

THE PERIODIC TABLE : A CLOSER LOOK

الجدول الدوري : نظره عن قرب

#### CHEMICAL BONDS

٤-٣ الروابط الكيميائية

THE FIRST CASE : IONIC BONDS

الحالة الاولى : الروابط الايونية

THE SECOND CASE : THE COVALENT

الحالة الثانية : الروابط التساهمية

BOND

THE THIRD CASE : THE POLAR

الحالة الثالثة : الرابطة

COVALENT BOND

التساهمية القطبية

#### THE HYDROGEN BOND

٥-٣ الرابطة الهيدروجينية

٦-٣ المواد المحبة للماء والمواد الكارهة للماء

#### WATER LOVERS AND WATER HATERS

<b>ACIDS AND BASES</b>	الأحماض والقواعد	٧-٣
<b>MOLECULAR WEIGHT AND THE MOLE</b>	الوزن الجزيئي والمول	٨-٣
<b>pH</b>	الأس الهيدروجيني (درجة الحموضة)	٩-٣
<b>CHEMICAL CHANGES</b>	التغيرات الكيميائية	١٠-٣
<b>BOND ENERGY</b>	طاقة الرابطة	١١-٣
<b>OXIDATION-REDUCTION REACTIONS</b>	تفاعلات الأكسدة والإختزال	١٢-٣
<b>CHAPTER SUMMARY</b>	ملخص الباب	
<b>EXERCISES AND PROBLEMS</b>	تمارين ومسائل	
<b>REFERENCES</b>	المراجع	

## الباب الثالث

### الأسس الكيميائية للحياة: مبادئ

قد يبدو أمراً غريباً أن يخصص كتاب في علوم الأحياء جزءاً منه لدراسة الكيمياء. ولقد كان هناك وقت كانت فيه كل معلوماتنا عن الكائنات الحية مستمدة من الملاحظات الدقيقة لعلماء الأحياء الذين يستخدمون في دراساتهم المواد الحافظة وأجهزة تقطيع الأنسجة وقليل من الأصباغ والمجاهر. ومع ذلك عندما وجهت الوسائل التحليلية للكيميائيين والفيزيائيين نحو العينات الحيوية فقد أمكن تحليلها إلى وحدات أصغر بكثير مما كان يشاهد بالمجهر. هذه الوحدات هي الذرات والجزيئات. وكنتيجه لهذه الدراسات فقد إتضح أمران:

- ١- على الرغم من أن الكائنات الحية والخلايا التي تترب منها (يقدر أقل) تبدو متباينة في مظهرها إلا أن تركيبها الكيميائي الأساسي متشابه إلى حد كبير.
- ٢- على الرغم من أن التركيب الكيميائي للمادة الحية معقد جداً إلا أنها مبنية على نفس المواد والأمس كذلك الموجودة في عالم الكائنات غير الحية.

هذان الاكتشافان كانت لهما آثار بعيدة المدى. فقد حولاً إنتباه علماء الأحياء من أوجه الاختلاف العديدة بين الكائنات الحية إلى أوجه التشابه العديدة بينها. وقد توافقت هذا التحول مع التوسع الذي حدث في دراستنا للكائنات الحية. فلم يعد علماء الأحياء يقنعون بدراسة الشكل الظاهري أي طريقة تجمع الخلايا والأنسجة والأعضاء مع بعضها لتركيب جسم الكائن. وعليهم الآن أن يتساءلوا كيف تعمل أجزاء هذا الكائن مع بعضها أي لا بد لهم أيضاً من دراسة وظائف الأعضاء. ولكي يتوصلوا الى ذلك عليهم أن يفهموا التركيب الكيميائي للخلية الحية والأمس الكيميائية التي تنظم نشاطها.

## FORMS OF MATTER

## ١-٣ صور المادة.

حتى الآن فإن المكان الوحيد المعروف بوجود حياة، ومن ثم خلايا حية، في الكون هو كوكبنا. هنا في هذه الطبقة الرقيقة للغاية التي تغطي سطح الأرض يوجد هذا التركيب الفريد للمادة التي تحمل صفات الحياة. وتعيش المواد الحية محاطة بوسط غير حي وفي تفاعل دائم معه وهو يشمل :

- ١- الوسط الأرضي. التربة والصخور القريبة من سطح الأرض.
- ٢- الوسط المائي. المياه العذبة والمالحة بالأرض.
- ٣- الغلاف الجوي.

ويتفاعل مع كل من هذه الأوساط الثلاثة للأرض الوسط الحيوى biosphere : هذه المنطقة الضيقة حيث تعيش المادة الحية وتتفاعل مع الوسط الأرضي والوسط المائي والغلاف الجوي. والوسط الحيوى رقيق للغاية حيث أن الغالبية العظمى من الكائنات الحية توجد في طبقة لا يتعدى سمكها ٢٠ كم (١٢ ميل) بينما نصف قطر الأرض يبلغ حوالي ١٢٧٥٠ كم. وكل من يحاول تحليل الموقف سوف يقدر تماماً أبعاد الوسط الحيوى. ولكن إستكشافات الفضاء وما أتاحتها من فرصة في الستينيات لمشاهدة كوكبنا من أعلى هي التي أعطتنا فكرة واقعية عن مدى الطبيعة الهشة لهذا الغشاء من الهواء والماء والتربة الذي لابد لنا ولكل المخلوقات الحية الأخرى أن نتعايش فيه (الشكل ١-٣).

مم تتكون الأوساط الأربعة ؟ إذا إختبرنا بعناية عينة من الصخور أو التربة فإننا سنؤخذ بما فيها من تباين. أي أننا سنجد لها مكونة من عدة مكونات يمكن التعرف عليها مثل حبيبات الرمل ورقائق المايكا. ويبدو الماء أكثر تجانساً في تركيبه من التربة ولكن عندما نبخر جزءاً من ماء البحر فإننا نحصل على راسب يحتوي على عدة أملاح مختلفة. أما الغلاف الجوي فإنه أكثر تجانساً في تركيبه من البحر ولكن هنا أيضاً يتضح من التحليل الدقيق وجود عدة مكونات. فإذا ما وضعنا على سبيل المثال فأراً حياً في وعاء محكم الأغلاق فإن تركيب الهواء داخل الوعاء سوف يتغير بحيث أن الفأر لا يستطيع في النهاية أن يتنفسه - فقد إنتهى الأكسجين وحل محله ثاني أكسيد الكربون.

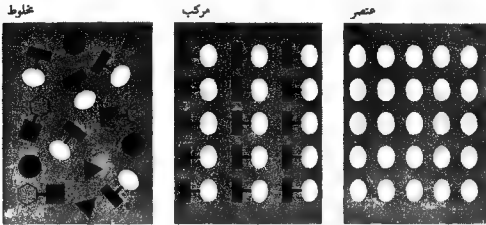


الشكل ٣-١. الأرض (بتصريح من ناسا).

وكل هذه الصور للمادة - التربة والماء والهواء - هي أمثلة للمخلوطات (الشكل ٣-٢). وماذا عن المادة الحية؟ إستخرج العصارة من الخلايا الحية لأي كائن حي وسوف تواجه بأكثر المخلوطات تعقيدا. ومن أكبر مهام أولئك الذين يريدون فهم وظائف الخلايا هو إيجاد السبل لفصل مكونات الخلية حتى يمكن دراسة كل منهم بمعزل عن الآخرين.

#### فصل مكونات مخلوط SEPARATING THE COMPONENTS OF A MIXTURE

لكي نفصل مكونات المخلوط فاننا نستغل بعض خواص هذه المكونات والتي تميز كل منهم عن البقية. فمثلا إذا كانت بعض هذه المكونات أكبر من غيرها فانه يمكننا دفع المخلوط خلال حاجز مثقب بحيث تسمح ثقوبه بمرور المكونات التي يكون حجمها أصغر فقط من هذه الثقوب. وعلى ذلك فإنه بالترشيح من خلال لوح من الورق نستطيع أن نفصل مخلوطاً من الرمل والماء (الشكل ٣-٣). وربما كنا نرغب في فصل مخلوط من السكر والنشا، لذلك نضع المخلوط في كيس من السلوفان محاط بالماء فنخرج جزيئات السكر الصغيرة من خلال الثقوب الموجودة (الشكل ٣-٣) في السلوفان



الشكل ٣-٢: رسم تخييلي لصور المادة. المخلوط يتكون من نسب متغيرة من الجزيئات والذرات. النوعان أو أكثر من الذرات التي يتكون منها المركب توجد بنسب ثابتة. العنصر يتكون بالكامل من نوع واحد من الذرات.

بينما تبقى جزيئات النشا الأكبر داخل الكيس. وتسمى هذه العملية بالانتشار الغشائي (الشكل ٣-٤). وهناك طرق أخرى لفصل مكونات المخلوط تستغل فيها الاختلافات في الشكل أو الكثافة أو قابلية الذوبان أو الشحنة الكهربائية للمكونات المختلفة.



الشكل ٣-٣. الترشيح. أي حبيبات مثل الرمل من الكبر بحيث لا تمر خلال مسام الورق يمكن فصلها بهذه الطريقة عن الجزيئات الأصغر منها مثل جزيئات الماء.



الشكل ٣-٤ . الانتشار الغشائي.  
 غلّساق في قطعة السلوفان من الصغر  
 بحيث تحجز الجزيئات الكبيرة (مثل  
 النشا وبياض البيض) بداخلها بينما  
 الجزيئات الصغيرة وأيونات (مثل  
 الجلوكوز و  $Cl$ ,  $Na$ ) تمر بسهولة إلى  
 الماء المحيط بها. الانتشار الغشائي هو  
 فصل الجزيئات الكبيرة عن الجزيئات  
 الصغيرة والأيونات في محلول.

الشكل (٣-٥) يوضح جهازاً يسمى العمود الكروماتوجرافي (أو الفصل اللوني) ويستعمل لفصل الجزيئات الموجودة في مخلوط. يملأ العمود بإداة صلبة تعوق مرور جزيئات معينة أكثر مما تعوق مرور جزيئات أخرى. فعلى سبيل المثال إذا امتلأ العمود بإداة صلبة تحمل شحنات سالبة ثم سكب فيه مخلوط من جزيئات بعضها سالب الشحنة وبعضها موجب فانه يعوق مرور الجزيئات موجبة الشحنة. ويحدث ذلك بسبب التجاذب بين الشحنات الكهربائية المتعاكسة. وبذلك نستغل الاختلاف في الشحنات الكهربائية في فصل الجزيئات الموجودة في مخلوط على الأقل جزئياً.

وفي الجانب الآخر إذا امتلأ العمود بحبات شبه صلبة تسمح بدخول الجزيئات الصغيرة فيما بينها ولا تسمح للجزيئات الكبيرة بذلك فانه يمكننا فصل الجزيئات الموجودة في مخلوط على أساس الاختلاف في حجمها. وعند إضافة مثل هذا المخلوط عند قمة العمود فإن الجزيئات الصغيرة توزع نفسها في حيز أكبر من الحيز متاح للجزيئات الكبيرة (الشكل ٣-٦). ويتربط على ذلك أن تمر الجزيئات الكبيرة بسرعة أكبر خلال العمود وبذلك يتجزأ المخلوط إلى مكوناته.

وعلينا مراعاة عدة نقاط عند استعمال طرق الفصل المختلفة. أولاً: هذه الطرق

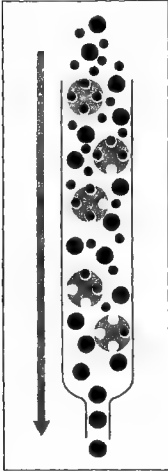


الشكل ٣-٥.  
كروماتوجرافي العمود.  
محلول به خليط من جزيئات  
البروتينات ينقط عند قمة  
عمود الكروماتوجرافي في  
اليمين. مادة الحشو في  
العمود تفصل الجزيئات على  
أساس الحجم. ويتم تجميع  
البروتينات عند مغادرتها لقاع  
العمود في أنابيب اختبار  
منفصلة. (بتصريح من  
شركة التجهيزات المتخصصة  
المحدودة).

لاحتاج بصفة عامة الى الكثير من الطاقة حيث أن قوى التماسك بين المواد المختلفة مع بعضها تكون ضعيفة. ثانياً: أن نسب المكونات في المخلوط متغيرة. فبعض الحامات تكون غنية بالحديد وبعضها فقير فيه وماء البحر يكون أكثر ملوحة في بعض المناطق عنه في غيرها وحتى الغلاف الجوي توجد به اختلافات طفيفة في كميات المكونات مثل ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء. أما بالنسبة للخلايا فإذا أخذنا محتواها المائي على سبيل المثال فإنه يتراوح بين ٦٠٪ إلى ٩٠٪.

إستنتاج ثالث تنوصل إليه من عملية فصل مكونات المخلوط هو أن هذه المكونات المفصولة تحتفظ بخواصها. فالهواء يساعد على الاشتعال لأن أحد مكوناته وهو الأوكسجين يساعد على الاشتعال. والخواص الكيمائية للملح الطعام ثابتة سواء كان في مخلوط (ماء البحر) أو معزولاً كماء نقية. والهدف من عملية فصل مكونات المخلوط إذن هو عزل المواد النقية المختلفة التي يتألف منها هذا المخلوط.





الشكل ٣-٦. الفصل الكروماتوجرافي بواسطة حجم الجزيئات. يملأ العمود بكرات تصف صلبة تسمح بدخول الجزيئات الصغيرة (الملونة) ولا تسمح بدخول الجزيئات الكبيرة (الرمادية) بينها. وهتلم يوضع خليط منها عند قمة العمود تتوزع الجزيئات الصغيرة في حجم من اللبب أكبر مما تتوزع فيه الجزيئات الكبيرة ومع تحرك اللبب إلى أسفل العمود تنتقل معه الجزيئات الكبيرة أسرع من الجزيئات الصغيرة.

### المواد النقية

### PURE SUBSTANCES

بعض المواد النقية التي تفصلها من المخلوط لا يمكن تجزئتها أكثر من ذلك. الأكسجين مثال لذلك. فالأكسجين الموجود في الهواء هو أحد المواد البنائية الأساسية للمادة، هو اذن أحد العناصر. والبعض الآخر من المواد النقية يمكن تجزئته إلى مكوناته، هذه المواد تسمى المركبات. ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) مثال لذلك والماء مثال آخر. فإذا مررنا تياراً كهربائياً في ملح طعام منصهر فإننا سنحصل على مادتين جديدتين: الصوديوم - وهو معدن لامع سريع التفاعل حتى اننا لابد أن نحفظه بمعزل عن الهواء - و الكلور وهو غاز مائل إلى الاصفرار وسام جداً. في هذه العملية حللنا مركب (كلوريد الصوديوم) إلى عنصرية.

ماهي الاختلافات بين هذه العملية وفصل مكونات المخلوط المبينة سالفاً؟ أولاً هذه العملية تتطلب قدرأ كبيراً من الطاقة وذلك لأن القوى التي تربط جزيئات المركب قد تكون كبيرة جداً . ثانياً مكونات المركب موجودة بنسب ثابتة ، فإذا مررنا تياراً في أي عينة من كلوريد الصوديوم فإن النسب الوزنية للناحيتين ستكون دائماً ٢٣ جزء من الصوديوم إلى ٣٥ جزء من الكلور . وبالمثل إذا مررنا التيار في الماء يتولد الهيدروجين والأكسجين بنسبة لا تتغير هي ١٦ : ٢ (السبب وراء هذه النسب سنجده مشروحاً في الجزء ٣-٣) . وأخيراً علينا أن نتذكر أن خواص مكونات المركب ليست هي نفس خواص المركب نفسه . فكل من الصوديوم والكلور ضار جداً بالأحياء وعلى النقيض من ذلك فإن كلوريد الصوديوم هام جداً في غذاء الحيوانات .

## ELEMENTS

## ٢-٣ العناصر

بتحليل المركبات بطرق كيميائية يمكن في النهاية إختزالهم الى عناصر مثل الهيدروجين والأكسجين المكونين للماء . ومهما بلغت درجة تعقيد العينات من القشرة الأرضية أو الغلاف المائي أو الغلاف الهوائي فإنه يمكن في النهاية إختزالها إلى عدد بسيط من بين القائمة التي تشتمل على ٩٠ عنصر (هناك عناصر أخرى معروفة ولكنها غير مستقرة حتى إنه لم يمكن إكتشافها على الأرض إلا بكميات ضئيلة ومن خلال وسائل التخليق المعروفة في علم الفيزياء النووية) . الشكل (٣-٧) يبين التركيزات النسبية لأكثر العناصر إنتشاراً بالقرب من سطح الأرض . والمخلوطات والمركبات في المادة الحية بالغة التعقيد ولكنها في النهاية أيضا يمكن إختزالها إلى عناصر قليلة - فقط ٢٥ أو نحو ذلك . يبين الشكل (٣-٧) أكثر هذه العناصر إنتشارا في المادة الحية .

هناك نقطتان ينبغي ذكرهما حول هاتين القائمتين . الأولى هي أن المادة الحية لا تستغل إلا كسراً ضئيلاً من العناصر المتاحة بل إن نسب تلك العناصر التي تستمدّها من الوسط المحيط بها تختلف كثيراً عن نسبها في هذا الوسط . وبعبارة أخرى يمكن القول بأنه من خصائص الحياة أنها تستمد العناصر النادرة من الوسط غير الحي وتقوم بتركيزها في خلايا حية . فالهيدروجين والكربون والنيتروجين يشكلون معاً أقل من واحد بالمائة من الذرات الموجودة في القشرة الأرضية بينما يمثلون ٧٤٪ من ذرات المادة الحية . وقدرة الحياة على تركيز العناصر النادرة لافتة للنظر فعلاً . وبعض الحيوانات البحرية

الشكل ٣-٧. التركيب العنصري للقشرة الأرضية والجسم البشري. يمثل كل رقم النسبة المئوية لمجموع أعداد الذرات الموجودة فمثلاً هناك ٤٧ ذرة أوكسجين من بين كل ١٠٠ ذرة موجودة في عينة تمثل القشرة الأرضية بينما هناك ١٩ ذرة كربون فقط من بين كل ١٠٠٠ ذرة من القشرة الأرضية.

تركيب الجسم البشري		تركيب القشرة الأرضية	
٦٣	هيدروجين	٤٧	أوكسجين
٢٥,٥	أوكسجين	٢٨	سيليكون
٩,٥	كربون	٧,٩	الومينوم
١,٤	نيتروجين	٤,٥	حديد
١,٣١	كالسيوم	٣,٥	كالسيوم
٠,٢٢	فوسفور	٢,٥	صوديوم
٠,٠٣	كلور	٢,٥	بوتاسيوم
٠,٠٦	بوتاسيوم	٢,٢	مغنيسيوم
٠,١٥	كبريت	٠,٤٦	تيتانيوم
٠,٠٣	صوديوم	٠,٢٢	هيدروجين
٠,٠١	مغنيسيوم	٠,١٩	كربون
أقل من ٠,٠١	البقية	أقل من ٠,١	البقية

يمكنها تراكم عناصر مثل الفاناد يوم واليود في خلاياها حتى تصل إلى تركيز ألف مرة أو أكثر قدر تركيزها في مياه البحر المحيطة بها. ولقد فكر البعض في الحصول على اليورانيوم من بعض الطحالب التي يمكنها إستخلاصه من ماء البحر وتركيزه في خلاياها.

والنقطة الثانية حول التركيب العنصري للمادة الحية هي عدم التأكد من العدد الدقيق للعناصر المطلوبة لها. فبعض العناصر مثل السيلينيوم والألمنيوم توجد بتركيزات ضئيلة جداً في الكائنات الحية. والسؤال إذن هو ما إذا كانت مثل تلك العناصر تلعب

دوراً أساسياً بالنسبة للحياة رغم ندرتها أم أنها اكتسبتها من الوسط المحيط بها بالصدفة في غذائها.

إحدى المحاولات التي تمت للإجابة على مثل تلك الأسئلة موضحة في الشكل (٣-٨). تربي فئران صغيرة في أوعية من البلاستيك لعزل العناصر الدقيقة ويتم ترشيح الغبار من الهواء الذي تتلقاه الحيوانات كما يتم إعداد غذائها بعناية فائقة بحيث تختزل منه العناصر الملوثة إلى أدنى درجة ممكنة. وبهذه الطريقة تمكن الدكتور كلاوس شوارتز ومعاونوه من إثبات أن الفئران لا يمكن أن تنمو نمواً عادياً إلا إذا تلقت كميات ضئيلة من الفاناديوم والسيلينيوم والفلور في غذائها. وبالنسبة للعنصر الأخير فان ٥, ٠ جز من كل مليون جزء من الغذاء كانت كافية لصحة ونمو طبيعيين. وهناك مقارعة ودرس هام في هذا الاكتشاف. فبعض مركبات الفلور تستخدم كسم للفئران وعند التركيزات التي يتتبعها الفأر تؤدي عملها على خيره. هنا إذن عنصر الجرعات الكبيرة منه قاتلة بينما الجرعات الصغيرة منه لاغنى عنها مطلقاً للحياة.

### ATOMS

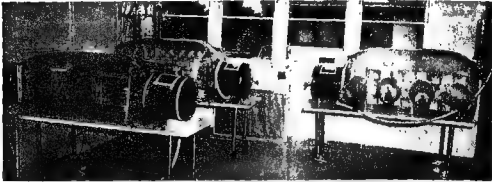
### ٣-٣. الذرات

كل عنصر يتكون من نوع واحد من الذرات. ويمكننا تعريف الذرة بأنها أصغر جزء من العنصر يمكنه الدخول في اتحاد مع عناصر أخرى. ولسهولة دراسة العناصر والذرات التي تتكون منها نعطي لكل عنصر رمز، ورموز العناصر مبينة في الشكل (٣-٩).

### STRUCTURE OF THE ATOM

### تركيب الذرة

لم ير أحد الذرة مطلقاً ولكن سنوات من البحث أدت إلى نموذج يوضح الكثير من الخواص التي يمكن قياسها للعناصر. وكل ذرة تتكون من نواة صغيرة nucleus كثيفة تحمل شحنات موجبة ومحيط بها دقائق أخف وزناً وتحمل شحنات سالبة تعرف بالإلكترونات electrons. ونواة أبسط الذرات وهي ذرات الهيدروجين تتكون من دقيقة واحدة موجبة الشحنة تسمى بروتون proton ولأن بها بروتون واحد فإن ذرة الهيدروجين تُعطي العدد الذري واحد. ويوجد مع هذا البروتون المنفرد إلكترون منفرد



الشكل ٣-٨. أوعية عزل العناصر الدقيقة. في هذه الأوعية البلاستيكية تعيش الحيوانات محمية تماماً من أي عناصر ملوثة بينما تتلقى غذاء يتم تجهيزه بعناية وتركيبه محدد بدقة. يمثل هذا الجهاز تين أن الفئران لا يمكن أن تنمو نمواً طبيعياً بدون كميات قليلة من السيليوم والفاناديوم والفلور في غذائها. (بتصريح من كلاوس شوارتز - إدارة المستشفى البيطري - لونج بيتش - كاليفورنيا).

وتبلغ شحنة الاليكترون نفس مقدار شحنة البروتون وبذلك تكون الذرة متعادلة كهربياً. وكل وزن الذرة تقريباً يعود إلى وزن البروتون. وذرة عنصر الهيليوم (He) لها إثنان من البروتونات في نواتها. ولذلك فالعدد الذري لها هو ٢ (الشكل ٣-١٠). ونواه الهيليوم تحتوي أيضاً على دقيقتين تعرفان بالنيوترونات neutrons. والنيوترونات لها نفس وزن البروتونات ولكنها لا تحمل أى شحنات كهربية. وتتأسك البروتونات والنيوترونات مع بعضها بقوة لتكوين النواة الكثيفة ذات الشحنات في الذرة. وحول هذه النواة يوجد إثنان من الاليكترونات بحيث تكون الذرة - مرة أخرى - متعادلة في مجموعها.

وينتج تركيب جميع الأنواع الأخرى من الذرات نفس الحفلة. ويمكن وضع الذرات في ترتيب تصاعدي حسب الأعداد الذرية من الليثيوم (العدد الذري = ٣) وحتى الماهانيوم (العدد الذري = ١٠٥) كما في الشكل (٣-٩). ولا تظهر أي فراغات في هذه القائمة حيث أن لكل عنصر العدد الذري الخاص به وحده وذراته فيها بروتون واحد واليكترون واحد أكثر مما للذرات العنصر الذي يسبقه في القائمة.

تُحيط الاليكترونات الذرة بالنواة. وفي أحد النماذج القديمة للتركيب الذري كان يُظن أن الاليكترونات تتحرك حول النواة في مدارات orbits تماماً كما تتحرك الكواكب حول

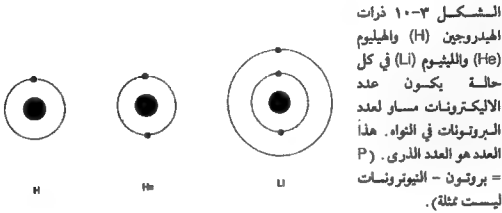
الشمس . ولكن هذا بسيط أكثر من اللازم وإن كانت الاليكترونات بصفة عامة موجودة في مناطق محددة نسبياً حول النواة . فمثلا الاليكترونات في ذره الهيليوم محددان في منطقة كروية تحيط بالنواة وتسمى الغلاف K (أو مستوى الطاقة K-shell) وفي الليثيوم (العدد الذري = ٣) يوجد ثلاثة إلكترونيات إثنان منها في الغلاف K والثالث يوجد أبعد قليلا عن النواة في الغلاف L. ويسبب وجوده بعيدا عن الشحنة المغايرة (+) للنواة فإن هذا الاليكترون يكون أقل إستقراراً . وفي كل من العناصر التالية بحسب ترتيب أعدادها الذرية يضاف إلكترون واحد إلى الغلاف L (الشكل

2 1 H	2 2 He	2 3 Li	2 4 Be	2 5 B	2 6 C	2 7 N	2 8 O	2 9 F	2 10 Ne
1.008	4.003	6.941	9.012	10.811	12.011	14.007	15.999	18.998	
2 11 Na	2 12 Mg	2 13 Al	2 14 Si	2 15 P	2 16 S	2 17 Cl	2 18 Ar	2 19 K	2 20 Ca
22.990	24.305	26.982	28.086	30.974	32.06	35.453	39.948	39.098	40.078
2 21 Sc	2 22 Ti	2 23 V	2 24 Cr	2 25 Mn	2 26 Fe	2 27 Co	2 28 Ni	2 29 Cu	2 30 Zn
44.956	47.88	50.942	51.996	54.938	55.845	58.933	58.69	63.546	65.38
2 31 Ga	2 32 Ge	2 33 As	2 34 Se	2 35 Br	2 36 Kr	2 37 Rb	2 38 Sr	2 39 Y	2 40 Zr
69.723	72.64	74.922	78.96	79.904	83.80	85.468	87.62	88.906	91.224
2 41 Nb	2 42 Mo	2 43 Tc	2 44 Ru	2 45 Rh	2 46 Pd	2 47 Ag	2 48 Cd	2 49 In	2 50 Sn
92.906	95.94		101.07	102.91	106.42	107.87	112.41	114.82	118.71
2 51 Sb	2 52 Te	2 53 I	2 54 Xe	2 55 Cs	2 56 Ba	2 57 La	2 58 Ce	2 59 Pr	2 60 Nd
121.76	127.6	126.905	131.29	132.905	137.33	138.905	140.12	140.908	144.24
2 61 Pm	2 62 Sm	2 63 Eu	2 64 Gd	2 65 Tb	2 66 Dy	2 67 Ho	2 68 Er	2 69 Tm	2 70 Yb
	150.36	151.96	157.25	158.93	162.50	164.93	167.26	168.93	173.05
2 71 Lu	2 72 Hf	2 73 Ta	2 74 W	2 75 Re	2 76 Os	2 77 Ir	2 78 Pt	2 79 Au	2 80 Hg
174.967	178.49	180.948	183.84	186.21	190.23	192.22	195.08	196.967	200.59
2 81 Tl	2 82 Pb	2 83 Bi	2 84 Po	2 85 At	2 86 Rn	2 87 Fr	2 88 Ra	2 89 Ac	2 90 Th
204.38	207.2	208.98			222.018		226.025		232.038
2 91 Pa	2 92 U	2 93 Np	2 94 Pu	2 95 Am	2 96 Cm	2 97 Bk	2 98 Cf	2 99 Es	2 100 Fm
231.04	238.03	237.05	244.06	247.07	251.08	252.08	257.10	261.10	267.10
2 101 Md	2 102 No	2 103 Lr	2 104 Rf	2 105 Db	2 106 Sg	2 107 Bh	2 108 Hs	2 109 Mt	2 110 Ds
286.10	289.10		287.10	288.10	289.10	290.10	291.10	292.10	293.10

الشكل ٣-٩ . الجدول الدوري للعناصر . العناصر في كل عمود رأسى لها نفس عدد الاليكترونات في الغلاف الخارجي ولذلك تتشارك في خواصها الكيميائية . العناصر التي ثبت علم جداؤها بالنسبة للحياة موضحة بلون قاتم . العناصر ٥٧-٧١ و ٨٩-١٠٣ لا تلعب دورا في المادة الحية .

٣-١١). ويستمر ذلك حتى تصل إلى عنصر النيون (العدد الذري = ١٠) وله ثمانية إلكترونات. وفي الصوديوم (العدد الذري = ١١) يوجد الـ ١١ إلكترون الحادى عشر في مستوى طاقة أعلى هو الغلاف M. ومن الصوديوم الى الأرجون يمتلئ هذا الغلاف تدريجياً بالإلكترونات حتى يبلغ الحد الأقصى وهو ثمانية. لاحظ أن الحد الأقصى لعدد الإلكترونات في الغلاف K هو إثنتان بينما أعلى رقم يستوعبه أى غلاف آخر حينها يكون هو الغلاف الخارجى هو ثمانية. (هناك إستثناء واحد لا يحتمل فهل يمكن أن تلاحظه).

HYDROGEN		1H		1.00797	



الشكل ٣-١١ . التركيب الإلكتروني لذرات العناصر ١-٣٦. وتتحدد الخواص الكيميائية للعنصر بعدد الإلكترونات الموجودة في أقصى مستوى خارجي للطاقة (غلاف).

مستويات الطاقة				العنصر	العدد الذري
N	M	L	K		
			١	الهيدروجين	١
			٢	الهيليوم	٢
		١	٢	الليثيوم	٣
		٢	٢	البريليوم	٤
		٣	٢	البورون	٥
		٤	٢	الكربون	٦
		٥	٢	النتروجين	٧
		٦	٢	الأوكسجين	٨
		٧	٢	الفلور	٩
		٨	٢	النيون	١٠
١	٨	٢		الصوديوم	١١
٢	٨	٢		المغنيسيوم	١٢
٣	٨	٢		الألومنيوم	١٣
٤	٨	٢		السيليكون	١٤



## تابع الشكل ٣-١١ .

مستويات الطاقة				المنصر	المعد الذرى
N	M	L	K		
	٥	٨	٢	الفوسفور	١٥
	٦	٨	٢	الكبريت	١٦
	٧	٨	٢	الكلور	١٧
	٨	٨	٢	الأرجون	١٨
١	٨	٨	٢	البوتاسيوم	١٩
٢	٨	٨	٢	الكالسيوم	٢٠
٢	٩	٨	٢	سكانديوم	٢١
٢	١٠	٨	٢	تيتانيوم	٢٢
٢	١١	٨	٢	فاناديوم	٢٣
١	١٣	٨	٢	الكروم	٢٤
٢	١٣	٨	٢	المنجنيز	٢٥
٢	١٤	٨	٢	الحديد	٢٦
٢	١٥	٨	٢	كوبالت	٢٧
٢	١٦	٨	٢	النيكل	٢٨
١	١٨	٨	٢	النحاس	٢٩
٢	١٨	٨	٢	الزئبق	٣٠
٣	١٨	٨	٢	الاليوم	٣١
٤	١٨	٨	٢	البروم	٣٢
٥	١٨	٨	٢	الزئبق	٣٣
٦	١٨	٨	٢	الليثيوم	٣٤
٧	١٨	٨	٢	البروم	٣٥
٨	١٨	٨	٢	الكريبتون	٣٦

## النظائر

## ISOTOPES

جميع الذرات لأي عنصر تحتوي على نفس عدد البروتونات في أنويتها. وهذا هو العدد الذري لذلك العنصر. ولكن ذلك لا ينطبق على النيوترونات. فأنوية الذرات المختلفة لنفس العنصر قد تختلف في عدد النيوترونات. ولأن النيوترونات والبروتونات ثقيلة ( ومتساوية ) الوزن ولأن كل وزن الذرة تقريبا يرجع الى وزن النواة فان مثل تلك الذرات تختلف في الوزن الذري. وذرات نفس العنصر التي تختلف عن بعضها في الوزن الذري تسمى بالنظائر.

الوزن الفعلي للذرة الواحدة متناهي في الصغر . وقد إتفق على التعبير عن الوزن الذري بالقياس الى ذرة معينة هي النظير المشع للذرة الكربون الذي تحتوي نواته على ستة بروتونات. هذه الذرة يرمز لها بالرمز  $C^{12}$  ويعطي للذرة الكربون - ١٢ ( $C^{12}$ ) وزن ذري تقريبي ١٢ دالتون (سميت هذه الوحدات باسم أحد رواد دراسة الوزن الذري جون دالتون). وعلى ذلك فإن الدالتون هو ١٢/١ من وزن ذرة الكربون ( $C^{12}$ ) ولكل من البروتون والنيوترون وزن قريب من الدالتون والكربون - ١٢ هو أكثر نظائر الكربون شيوعاً بينما يوجد الكربون - ١٣ ( $C^{13}$ ) وله ٦ بروتونات وسبعة نيوترونات والكربون - ١٤ ( $C^{14}$ ) وله ستة بروتونات وثمانية نيوترونات بكميات أقل بكثير.

إذا نظرت إلى الجدول المبين في شكل (٣-٩) فقد تلاحظ أن معظم الأوزان الذرية ليست أرقام صحيحة وذلك لأن العينات الطبيعية من العناصر تتكون من خليط من النظائر. فمثلاً في العينات الطبيعية من الكلور يكون ٧٥٪ من الذرات تقريبا النظير ( $Cl^{35}$ ) بينما الباقي من ( $Cl^{37}$ ) والمتوسط الوزني لهذه النسب هو ٣٥,٥ وهو ما يقارب القيمة المذكورة في الشكل (٣-٩).

وجود النظائر وطرق تحضير غاليلط غير طبيعية منها تمثل أداة قيمة للغاية بالنسبة لعلماء الأحياء. فمثلاً يمكن تحضير مركب كربوني تستغله الكائنات الحية وتحمل فيه ذرات كربون - ١٤ ( $C^{14}$ ) محل معظم ذرات الكربون - ١٢ ( $C^{12}$ ) ولكن الكربون - ١٤ مشع وعند تتبع الاشعاع في كائن حي يمكن معرفة مصير هذا المركب الكربون في ذلك الكائن. وسوف ندرس عدة أمثلة محددة لهذه الطريقة في أبواب لاحقة. أما النقطة التي يجب مراعاتها الآن فهي أن وزن الذرة ذو تأثير طفيف أو بدون تأثير على

الخواص الكيميائية للذرة. فكيمياء العنصر والذرات التي يتكون منها (مهما كان وزنها الذري) هي دالة العدد الذري للعنصر. فطالما كان للذرة ستة بروتونات وثمانية نيوترونات تعطينا أحد نظائر الكربون وهو ( $C^{14}$ ) ولكن سبعة بروتونات وسبعة نيوترونات تعطينا عنصر مختلف تماماً وهو التروجين - ١٤. دعونا الآن نعرف لماذا كان ذلك.

### الجدول الدوري: نظره عن قرب THE PERIODIC TABLE : A CLOSER LOOK

ترتب العناصر في الشكل (٣-٩) بحسب العدد الذري. ولكن لهذا الترتيب مدلولات أكثر بكثير من مدلولاته كمجرد عمود بسيط. فعند ترتيب العناصر بالطريقة المبينة تظهر خاصية هامة لهذه القائمة وهي ظهور عناصر تشترك فيما بينها في الكثير من الخواص الكيميائية على فترات منتظمة.

في العمود قبل الأخير من اليمين نجد قائمة تضم الفلور والكلور والبروم واليود. هذه العناصر متشابهة إلى حد كبير في خواصها الكيميائية فمثلاً عندما تذوب في الماء فإنها جميعاً تعطى محاليل قاتلة للجراثيم. وفي العمود الثاني من اليسار نجد الكالسيوم (عدد ذري = ٢٠) وسترونشيوم (عدد ذري = ٣٨). ومن المشاكل المثيرة للقلق والناجمة عن اختبار الأسلحة الذرية في الغلاف الجوي هي إنتاج سترونشيوم - ٩٠ ( $Sr^{90}$ )، وهو نظير مشع تراكم في عظام الأطفال لأن أجسامهم خلطت بينه وبين الكالسيوم (أحد المكونات الرئيسية للعظام).

ماهي السمة المشتركة بين كل العناصر في كل عمود رأسي طويل؟ العناصر الموجودة في كل عمود رأسي طويل لا تتشابه في الصفات الكيميائية وحسب ولكن لها نفس عدد الاليكترونات في الغلاف الخارجي. والعناصر الموجودة في يسار الجدول ولها اليكترون واحد أو إثنان أو ثلاثة في أغفلتها الخارجية هي الفلزات. أما العناصر في أعلى يمين الجدول ولها أربعة أو خمسة أو ستة أو سبعة إلكترونيات في أغفلتها الخارجية فهي اللافلزات. وتلك العناصر التي لها ثمانية إلكترونيات في أغفلتها الخارجية (النيون والارجون . . . الخ) تشترك جميعاً في خاصية هامة ألا وهي أنها تقريباً خاملة بالكامل أي أنه لخواص كيميائية لها بالمعنى المتعارف عليه، أو بعبارة أخرى فهي تفشل تحت

الظروف العادية في التفاعل مع أي نوع آخر من الذرات . وعلى ذلك فإن عدد وترتيب الاليكترونات في ذرات العنصر هما اللذان يحددان خواص هذا العنصر .

باستثناء ما يسمى بالغازات الخاملة فإن العناصر تتفاعل مع بعضها . فإذا فحصنا النسبة التي تتفاعل بها الأنواع المختلفة من الذرات فإننا سنكتشف مفتاحاً هاماً يحدد خواصها الكيميائية .

فمثلاً إذا سمحنا للذرات الهيدروجين بالتفاعل مع ذرات الكلور (وهما يتفاعلان بعنف) فإننا نجد أنها يتحدان بنسبة ١ : ١ والناتج من هذا التفاعل هو مركب : كلوريد الهيدروجين . ونحن نعطي هذا المركب الرمز  $HCl$  . وذرات الليثيوم والصوديوم والبوتاسيوم وبقية الذرات في هذا العمود كل منها يتفاعل مع الكلور بنسبة ١ : ١ وبذلك تتكون المركبات  $NaCl$ ,  $LiCl$  (ملح الطعام) ،  $KCl$  .

وإذا كررنا نفس العملية مع العناصر الموجودة في العمود التالي فإننا نجد أن النسبة الآن أصبحت ١ : ٢ أي أن المركبات الناتجة توصف بالرموز  $BeCl_2$ ,  $MgCl_2$  ,  $CaCl_2$  , إلخ ، مع الكربون وهو أخف العناصر في العمود التالي وله أهمية ضخمة بالنسبة لنا فإن المركب الذي يتكون من التفاعل مع الكلور هو  $CCl_4$  ، إذا تقدمنا إلى العمود التالي نجد أن ذرات النيتروجين والهيدروجين تتفاعل بنسبة ١ : ٣ لتكون المركب  $NH_3$  (الأمونيا أو النشادر) . ومع الاستمرار في هذا الاتجاه نجد أن الأوكسجين والهيدروجين يتفاعلا لتكوين الماء ( $H_2O$ ) والكبريت يوجد أسفل الأوكسجين مباشرة في نفس العمود ويتبع نفس النسبة لتكوين ( $H_2S$ ) . والفلور تماماً مثل الكلور وبقية العناصر في نفس العمود يتفاعل مع ذرات الهيدروجين بنسبة ١ : ١ أما العناصر الموجودة في العمود الأخير فإنها لا تتفاعل بالمرّة .

في كل هذه الحالات تفاعلت الذرات بحيث كان العدد الاجمالي للاليكترونات الخارجية التي ساهمت بها كل منها ثنائية . فإذا تذكرنا الثبات الكيميائي الكبير لتلك العناصر التي يوجد بها ثمانية إلكترونيات في الأغلفة الخارجية (إثنان في حالة الهيليوم) فإننا نستنتج أن ذرات العناصر تتفاعل مع بعضها بحيث يأخذ كل من المشاركين في التفاعل تنظيمًا إلكترونيًا مشابهاً لذلك الموجود في الغازات الخاملة .

وكما سنرى فإنه يمكن التوصل إلى هذا التنظيم عن طريق إكتساب مزيد من الاليكترونات أو فقد إليكترونات أو المشاركة في بعض الاليكترونات. وعدد الاليكترونات التي لابد للذرة أن تكتسبها أو تفقدها أو تشارك بها لتصل إلى تنظيم ثابت من ثمانية إليكترونات (إثنان بالنسبة للهيدروجين) يسمى التكافؤ valence. والآن علينا أن نساءل أي من هذه الطرق الثلاثة المحتملة تختارها الذرة للتعبير عن تكافؤها. تعتمد الاجابة على السالبية الكهربية elec- tronegativity للذرة.

### CHEMICAL BONDS

### ٣-٤ الروابط الكيميائية

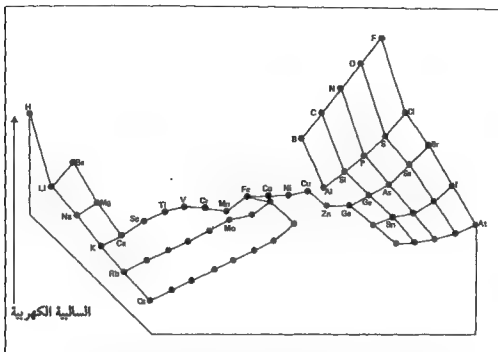
تختلف العناصر من حيث قابلية الذرات لمزيد من الاليكترونات. فكلما زادت هذه القابلية زادت السالبية الكهربية للذرة. فاذا غبرنا من ترتيب الجدول الدوري بحيث كلما زادت السالبية الكهربية كلما إرتفع مكان العنصر في الجدول (الشكل ٣ - ١٢) فإننا نخرج بملاحظتين.

أولاً : كلما نقص العدد الذري لعنصر في عمود ما كلما زادت السالبية الكهربية لذراته. ويبدو ذلك منطقياً إذا ما تذكرت أن كل غلاف أو مستوى طاقة إضافي يكون أكثر بعداً عن جذب البروتونات ذات الشحنات الموجبة الموجودة في النواة. ثانياً : أن تلك العناصر (الفلزات) التي تحتاج فقط إلى إليكترون واحد أو إثنين إلى الغلاف الخارجي تكون ذات سالبية كهربية أكبر من العناصر (الفلزات) التي تحتاج لاكتساب ست أو سبع إليكترونات إلى الغلاف. والفلزات بدلاً من ذلك تكون على استعداد للتخلص من الاليكترون أو الاليكترونين اللذين يشغلان الغلاف الخارجي. والسالبية الكهربية النسبية للذرتين متفاعلتين تحدد نوع الرابطة الكيميائية التي تنشأ بينهما.

### THE FIRST CASE : IONIC BONDS

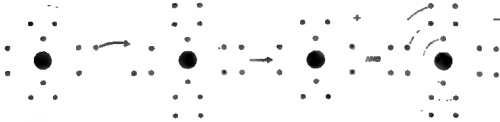
### الحالة الأولى : الروابط الأيونية

الفلور هو أكثر العناصر سالبية كهربية بينما للصوديوم سالبية كهربية ضعيفة وعندما يلتقيان فإن القابلية الإليكترونية للفلور تكون من القوة بحيث تنتزع الاليكترون الوحيد الموجود في الغلاف الخارجي للذرة الصوديوم. والصوديوم مثله مثل كل الفلزات ليست له قابلية إليكترونية قوية ولذا فإنه يفرط بسهولة في اليكترونه الخارجي. والآن وقد فقد



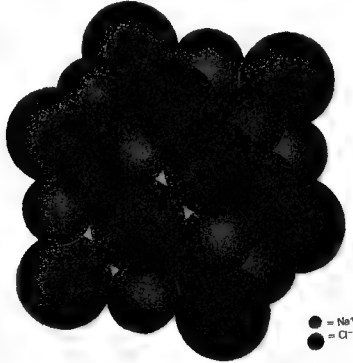
الشكل ٣-١٢ . السالبية الكهربية النسبية . جزء من الجدول الدوري يبين السالبية الكهربية النسبية لبعض العناصر . على الرغم من أن للفلور أعلى سالبية كهربية فإن السالبية الكهربية للعنصر الذي يليه مباشرة وهو الأكسجين هي التي تستغل من قبل الكائنات الحية .

إلكترون فإنه يحتوي على شحنة موجبة واحدة (١١ بروتون وعشرة إلكترونات فقط) . وبالمثل ذرة الفلور قد اكتسبت شحنة سالبة واحدة بسبب الـ ٩ إلكترونات الإضافية (٩ بروتونات وعشرة إلكترونات) . وهذه الذرات ذوات الشحنات الكهربية تسمى أيونات ions . والتجاذب المتبادل بين الشحنات الكهربية المخالفة يعمل على تماسك الأيونات بواسطة روابط أيونية ionic bonds . وبالمثل يؤدي التفاعل بين الصوديوم والكلور إلى تكوين أيونات الصوديوم وأيونات الكلور (الشكل ٣ - ١٣) . وفي كل من هاتين الحالتين تكون النسبة بين الأيونات ١ : ١ . وعلى الرغم من ذلك لاتتماسك الأيونات مع بعضها في أزواج ولكنها تترافق في نظم ثلاثية الأبعاد (الشكل ٣ - ١٤) . وكل أيون صوديوم يكون ممسوكاً بواسطة ستة أيونات كلور (من أعلى وأسفل وأمام وخلف وعن يمين ويسار) بينما يكون كل أيون كلوريد بدوره ممسوكاً بواسطة ستة أيونات صوديوم وتكون المحصلة أن الأيونات تترافق في بللورة مكعبة للملح الطعام .

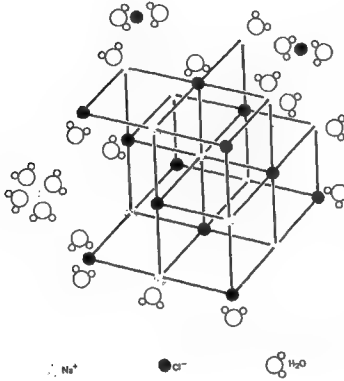


الشكل ٣-١٣. تكوين كلوريد الصوديوم. في نقل إلكترون من ذرة الصوديوم إلى ذرة الكلور ، كل ذرة تكتسب غلاف خارجي من نهائية إلكترونات وتستقر. وتتطلب كل ذرة شحنة كهربية. الذرات ذات الشحنات تسمى أيونات.

تنتشر المركبات الأيونية بكثرة في الطبيعة. ومع أننا عادة مانربط بينها وبين عالم الجسيمات من صخور ومعادن فإن الكثير منها أساسي للحياة. فأملاح الصوديوم والبوتاسيوم والكلسيوم والكلور وغيرها من العناصر توجد ذائبة في سائل الدم وموائل الخلايا وما إلى ذلك. وفي هذه الحالة تنفصل الأيونات الموجبة عن الأيونات السالبة (الشكل ٣-١٥). ولا تزال أيونات الصوديوم ( $\text{Na}^+$ ) وأيونات الكلوريد ( $\text{Cl}^-$ ) الذائبة محتفظة بخواص ملح الطعام ولا تسترد الخواص السامة للذرات المتعادلة التي نشأت منها.



الشكل ٣-١٤. التركيب البللورى لبللورة كلوريد الصوديوم ( $\text{NaCl}$ ) التراص المنتظم لأيونات الصوديوم  $\text{Na}^+$  والكلور  $\text{Cl}^-$  يتبع بللورة على شكل مكعب.

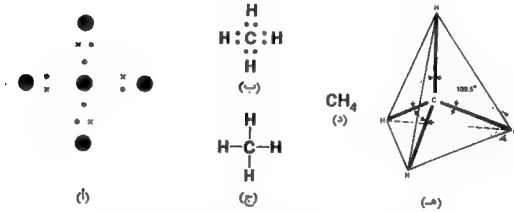


الشكل ٣-١٥. ذوبان التركيب البلوري لكلوريد الصوديوم NaCl على الرغم من أن جزيء الماء ككل متعادل كهربياً إلا أن التوزيع غير المنتظم للإلكترونات فيه يجعله قطبياً بعض الشيء أي ذى شحنة سالبة حول ذرة الأكسجين وشحنة موجبة حول ذرتي الهيدروجين. وبسبب هذه القطبية يكون الماء مذيباً ممتازاً للمواد الأيونية. تنجذب أيونات Cl نحو منطقة الشحنة الموجبة من جزيء الماء بينما تنجذب أيونات Na<sup>+</sup> نحو منطقة الشحنة السالبة وتكون النتيجة تفكك الأيونات وذوبان البلورة.

#### الحالة الثانية : الرابطة التساهمية THE SECOND CASE : THE COVALENT BOND

ذرات الكربون والهيدروجين لها سالبية كهربية متشابهة (الشكل ٣-١٢)، وحينما تلتقى فإن السبيل الوحيد أمام كل منهما للتوصل إلى ترتيب إلكتروني مستقر هو أن تحدث مشاركة بينهما في أزواج من الإلكترونات. فكل من الإلكترونات الأربعة في الغلاف L للذرة الكربون يتوحد مع الإلكترون المنفرد الذي تساهم به ذرة الهيدروجين. وبهذه الطريقة يتكون جزيء الميثان (الشكل ٣-١٦). وكل زوج من الإلكترونات التي ساهمت بها الذرات يكون رابطة تساهمية ويمكننا توضيح ذلك كما هو مبين في الشكل (٣-١٦ أ) حيث تمثل علامات X الإلكترونات التي ساهمت بها ذرات الهيدروجين بينما تمثل النقاط الإلكترونات الخارجية في الغلاف L للذرة الكربون. وجميع الإلكترونات متشابهة ولذا فإن تمثيلهم جميعاً بنقاط لا يكون مضللاً





الشكل ٣-١٦ . خمس طرق لرسم جزيء الميثان . (أ) التركيب الذري الكامل .  
 (ب) الصيغة الالكترونية النقطية (ج) الصيغة التركيبية . (د) الصيغة الجزيئية .  
 (هـ) تمثيل ثلاثي الأبعاد يبين اتجاه الروابط التساهمية الأربعة نحو أركان هرم رباعي . المناطق الملونة تمثل المداريات التي يوجد في كل منها زوج من الالكترونات المقسمة .

(الشكل ٣ - ١٦ - ب) . ولأن هذه الصيغ الالكترونية - النقطية ليست سهلة فإننا نضع مكان كل زوج من الالكترونات خط وهذا يعطينا الصيغة التركيبية - structural formula للجزيء (الشكل ٣ - ١٦ - ج) فإذا كانت هذه غير مريحة أو (كما في حالة الجزيئات الأكثر تعقيداً) يمكن أن نستخدم ما يسمى بالصيغة الجزيئية مثل  $\text{CH}_4$  وهذه تدلنا فقط على عدد الذرات الموجودة من كل نوع في الجزيء .

على الرغم من أن هؤلاء الذين يمشون معظم وقتهم مع صفحات الكتب والصورات ذات البعدين قد يغفلون هذه الحقيقة إلا أن الذرات والجزيئات توجد في الواقع على صورة ثلاثية الأبعاد ولذلك فحتى الصيغة التي تمثل فيها الالكترونات بنقاط للميثان تكون مضللة . وفي الواقع فإن الروابط التساهمية الأربعة التي تنشأ بين ذرات الهيدروجين وذرة الكربون تكون أبعد مايمكن عن بعضها . وذلك يعني أن كلا منها تكون متجهة نحو أحد أركان شكل هرمي رباعي منتظم (الشكل ٣ - ١٦ - د) أي أن كلا من الروابط التساهمية الأربعة تكون زاوية مقدارها  $109.5^\circ$  مع كل واحدة من الروابط الثلاث المجاورة وتكون النتيجة هي توزيع تام الانتظام لجميع الالكترونات (والأنوية) التي يشتمل عليها هذا الجزيء .

هناك مثالان لها أهمية خاصة للروابط التساهمية التي تنشأ بين ذرات لها سالبية كهربية متشابهة. فالعديد من العناصر الغازية لا توجد في صورة ذرات منفردة ولكن على هيئة جزيئات من ذرتين وليس هناك إختلاف في السالبية الكهربية بين ذرتين متماثلتين ولذلك تكون الروابط بينهما تساهمية. النيتروجين والأكسجين يشكلان معاً أكثر من ٩٩٪ من الغلاف الجوي و يوجد ان على هيئة جزيئات ثنائية الذرات ولها الصيغتان  $O_2$ ,  $N_2$  على التوالي. والكلور وغاز الهيدروجين أيضاً موجودان على هيئة جزيئات ثنائية الذرات  $H_2$ ,  $Cl_2$  (الشكل ٣ - ١٧).

ذرات الكربون هي العمود الفقري للمادة الحية وسنرى في الباب التالي عدة امثلة لجزيئات عملاقة لا يمكن أن توجد الحياة كما نعرفها بدونها وجميع هذه الجزيئات العملاقة تعتمد في حجمها على قابلية ذرات الكربون لتكوين روابط فيما بينها. وحيث أنه لا يوجد فرق في السالبية الكهربية فإن هذه الروابط تكون تساهمية ويمكن بذلك تكوين سلاسل من ذرات الكربون. وهذه تشكل الأساس التركيبي لجميع الجزيئات تقريبا التي تنفرد بها للمادة الحية.

### الحالة الثالثة : الرابطة التساهمية القطبية

#### THE THIRD CASE : THE POLAR COVALENT BOND

الأكسجين له ثاني أعلى سالبية كهربية بين كل العناصر (الشكل ٣ - ١٢). أما السالبية الكهربية للهيدروجين فهي معتدلة وهي ليست مثل ما للأكسجين أو النيتروجين ولكنها أعلى مما للصوديوم أو الكالسيوم. فإذا يحدث عندما يلتقي الهيدروجين بالأكسجين ؟ الفرق في السالبية الكهربية لها ليس كافياً لتكوين أيونات وبالتالي فإن عليهما أن يقتسما زوجاً من الاليكترونات أي تتكون بينهما رابطة تساهمية. ومع ذلك فان الإقتسام لا يكون متساوياً في جميع الأحوال، في حالتنا هذه تعمل السالبية الكهربية الأعلى لذرات الأكسجين على سحب أزواج الاليكترونات بالقرب من نواتها وبالتالي بعيداً عن أنوية ذرات الهيدروجين. و يترتب على ذلك تركيز الشحنات السالبة بالقرب من ذرة الأكسجين وبعيداً عن الشحنات الموجبة للبروتونات المكونة لأنوية الهيدروجين. ولذلك فان الرابطة التي تنشأ بينها تكون ذات طبيعة متوسطة بين الرابطة الأيونية



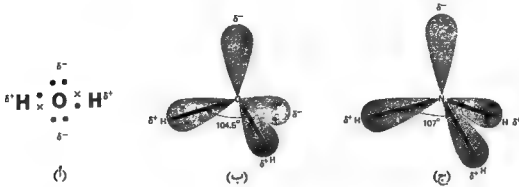
الشكل ٣-١٧. تركيب جزيئات الهيدروجين والكلور. الرابطة بين ذرتي كل من هذين الجزيئين ثنائي الذرات رابطة تساهمية.

والرابطة التساهمية. هناك فصل بين الشحنات ولكنه غير تام كما يحدث عند تكوين أيونات ونرمز للشحنات الجزئية الناتجة بالرمز S (الشكل ٣ - ١٨).

إذا كان ترتيب ذرتي الهيدروجين حول ذرة الأوكسجين كما هو موضح في شكل ٣-١٨-أ وفي نفس المستوي لكان لهذه الروابط القطبية أهمية قليلة. ولكن عندما نتفحص الموقف كما يوجد فعلا في ثلاثة أبعاد نجد أن توزيع الشحنات الجزئية حول جزيء الماء غير متماثل. فالأزواج الأربعة من الاليكترونات التي تحيط بذرة الأوكسجين في جزيء ماء تكون محصورة في ٤ مناطق تشبه وحدة رفع الأثقال dumbbell في الغلاف L. هذه المناطق (وهي تسمى مداريات orbitals) تتجه نحو الأركان الأربعة لشكل هرمي منتظم. وعلى ذلك يكون لها ترتيب مشابه لما وجدناه في الميثان (شكل ٣ - ١٦).

زوجان من الاليكترونات يمثلان روابط تساهمية قطبية مع أنوية الهيدروجين ويبقى زوجان غير مقسمين unshared. وبسبب الشكل الهندسي للهرم المنتظم فإنه مهما كان الركنان اللذين نختارهما لوضع أنوية الهيدروجين فسوف يؤدي إلى توزيع غير متماثل للشحنات الجزئية. أحد جوانب الجزيء (حيث توجد ذرات الهيدروجين) سيجعل شحنات جزئية موجبة بينما الجانب الآخر (حيث أزواج الاليكترونات غير المقتسمة) سيجعل شحنات جزئية سالبة. ولذلك فإن الجزيء ككل يكون قطبياً.

القياسات الحقيقية للزاوية المحصورة بين الرابطتين القطبيتين في الماء توضح أنها متباعدتان بمقدار ١٠٤,٥° (الشكل ٣-١٨-ب) وهي أقل قليلاً من الزاوية



الشكل ٣-١٨. (أ) تمثيل جزيء الماء في معدلين والرمز  $\delta^-$  يمثل شحنة كهربية جزئية وبهذا الأسلوب في الرسم يكون توزيع الشحنات الجزئية منتظماً. (ب) تمثيل ثلاثي الأبعاد لجزيء الماء. لاحظ أن الشحنات الجزئية الموجبة تقع عند ركني هرم رباعي بينما الشحنات الجزئية السالبة عند الركنين الآخرين ويكون الجزيء ككل قطبي. المساحات الملونة هي المداريات التي تتحد فيها أزواج الإلكترونات المقترنة وغير المقترنة. (ج) التركيب الفراغي لجزيء الأمونيا والأمونيا مثل الماء قطبية قوية.

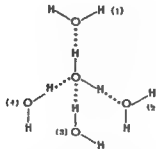
١٠٩,٥ التي كنا نتوقعها لو أن نواتي الهيدروجين كانتا أبعد ما يمكن عن بعضهما. وقد بين ذلك أن أزواج الإلكترونات غير المقترنة تشغل حيزاً أكبر مما تشغله الأزواج المقترنة وبذلك تدفع ذرتي الهيدروجين إلى التقارب من بعضهما. كما أنه يفسر أيضاً لماذا تكون الزاوية بين الروابط التساهمية القطبية الثلاث في جزيء الأمونيا ١٠٧° (بدلاً من زاوية الشكل الهرمي المنتظم ومقدارها ١٠٩,٥°) كما في الشكل (٣-١٨ ج). وفي هذه الحالة أيضاً فإن الجزيء ككل يكون قطبياً مع تركيز من السالبة في أحد أركان الشكل الهرمي وتركيز الموجبة في بقية الأركان.

### ٣-٥. الرابطة الهيدروجينية

إن القطبية في جزيء الماء تجعل التجاذب بين جزيئات الماء ممكناً فلكل جزيء منطقة  $\delta^-$  ومنطقة  $\delta^+$  وبسبب التجاذب بين الشحنات غير المتشابهة فإن جزيئات الماء تميل إلى ترتيب نفسها بحيث تتقارب مناطق  $\delta^+$  مع مناطق  $\delta^-$ . هذا يعني أن كل جزيء ماء يجذب إليه أربعة جزيئات حيث تكون كل ذرة هيدروجين في تجاذب مع

ذرة أوكسجين من جزئ قريب . ويمكن لكل ذرة أوكسجين من خلال ما لديها من زوجين غير مقسمين من الاليكترونات أن تتجمع مع ذرتي هيدروجين من جزئي ماء قريبين منها (الشكل ٣-١٩) . وعلى حين تكون قوة التجاذب بين هذه الجزيئات القطبية ليست بمثل قوة الرابطة التساهمية أو الرابطة الأيونية إلا أنه لا يمكن إغفالها وهي من الأهمية بحيث تستحق إسماً خاصاً بها : الرابطة الهيدروجينية . ويفسر الترابط الهيدروجيني بين جزيئات الماء بعضاً من الخواص الفريدة والحوية للماء - هذه الخواص التي تجعل من وجود الماء مرادفاً للحياة ذاتها .

قابلية الماء للبقاء سائلاً في جزء كبير من المدى الحرارى الموجود على الأرض هي إحدى هذه الخواص . فالجزيئات التي لها ما للماء من حجم صغير ولا تكون روابط هيدروجينية (مثل  $CO_2$ ) تتحول من سائل إلى غاز . والترابط الهيدروجيني يفسر كذلك الكم الهائل من الطاقة (الحرارة) المطلوبة لتحويل الماء السائل (حيث الجزيئات بينها تجاذب بواسطة الروابط الهيدروجينية) إلى بخار ماء (حيث لا يوجد هذا التجاذب) . ولذلك فإن الماء عامل هام في الاستقرار الحرارى وهذا يفسر إعتدال الجو بالقرب من المساحات المائية الكبيرة مثل المحيطات . ويستغل الكثير من الكائنات الحية هذه الخاصية حيث يكون إفراز وتبخير العرق وسيلة هامة لتبريد الجسم عند الكثير من الثدييات ويعتمد في كفاءته على الكميات الكبيرة من الحرارة المطلوبة لكسر الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء .



الشكل ٣-١٩ . تكوين الروابط الهيدروجينية في الماء . كل جزئ ماء يرتبط بروابط هيدروجينية مع أربعة جزيئات أخرى موجودة عند أركان هرم رباعي منتظم . الروابط الهيدروجينية القوية في الماء تفسر الكثير من خواص هذه المادة .

## ٦-٣ . المواد المحبة للماء والمواد الكارهة للماء

## WATER LOVERS AND WATER HATERS

النتروجين والهيدروجين مختلفان في السالبية الكهربية ولذلك فهما يتحدان بروابط تساهمية قطبية وكما في حالة الماء فان هندسة الجزيء ككل تكون قطبية وتكون  $\delta^+$  متجهة نحو ثلاث من قمم الهرم الرباعي بينما تكون  $\delta^-$  تتجه نحو القمة الرابعة (الشكل ٣ - ١٨). وكما في حالة الماء أيضاً هناك فرصة لتكوين روابط هيدروجينية بين جزيئات الأمونيا. ولكن إذا تمكنت الجزيئات القطبية من التجاذب مع بعضها فلماذا لا يحدث ذلك بين الجزيئات القطبية غير المتماثلة ؟ في الواقع فان هذا التجاذب يحدث . فاذا تركت غاز الأمونيا يمر خلال الماء فان الأمونيا تذوب بسهولة في الماء وتنتج الأمونيا المنزلية . وعموماً فان الجزيئات التي تتجاذب مع الماء تسمى محبة للماء hydrophilic. مثل هذا الجزيء يختلط (أي يذوب) في الماء بسهولة . أما إذا تركت الميثان يمر خلال الماء فان القليل منه يذوب في الماء وذلك بسبب أن الميثان لا قطبي apolar وكما لاحظنا من قبل فانه لا توجد روابط تساهمية قطبية ولا شحنات  $\delta^-$  أي لا يوجد ما يجذب جزيئات الميثان الى جزيئات الماء . ولذلك يسمى الميثان كاره للماء - hydrophobic .

الجزيئات القطبية لا تجذب بعضها البعض فقط وإنما تجذب الأيونات أيضاً . وهذا يفسر سهولة ذوبان مثل تلك المواد ككلوريد الصوديوم في الماء . الشكل (٣ - ١٥) يعطى فكرة تخطيطية عن ذوبان بللورة من ملح الطعام حيث تتجاذب أيونات  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  مع أجزاء  $\delta^-$  و  $\delta^+$  من جزيئات الماء على التوالي.

## ACIDS AND BASES

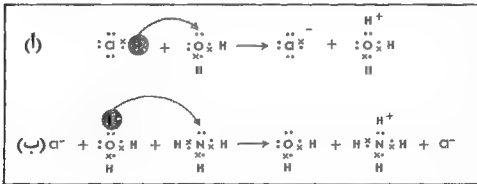
## ٧-٣ الأحماض والقواعد

تصور ما يحدث عندما تدع كلوريد الهيدروجين (وهو غاز - HCl) يمر خلال الماء . الكلور له سالبية كهربية أعلى مما للهيدروجين ولذلك تكون الرابطة الوحيدة بينهما قطبية وكما رأينا تتجاذب الجزيئات القطبية مع بعضها ولذلك نتوقع أن يذوب HCl بسهولة في الماء . وهو بالفعل كذلك ولكن هذه ليست نهاية القصة . فالكلور يارنس تحمك كبير على زوج الاليكترونات المتقاسم مع الهيدروجين (أي أن الترابط القطبي قوى) بحيث

يكون البروتون الوحيد محروم تماماً . ويترتب على ذلك أن ينجذب بسهولة إلى أي زوج الإلكترونات غير متقاسمة موجودة على أي جزيئات قريبة . وجزيئات الماء لديها مثل هذا الزوج من الاليكترونات غير المتقاسمة ولذلك يغادر البروتون ذرة الكلور ويتنقل إلى أحد أزواج الاليكترونات غير المتقاسمة على جزيء ماء (الشكل ٣-٢٠-أ) . ولكن لاحظ أن نواه الهيدروجين (البروتون) قد تركت إلكترونها ولذلك فإن ما بدأ كمجزيء واحد قد صار أيونات : أيون هيدروجين ( $H^+$ ) وأيون كلوريد ( $Cl^-$ ) وعلى ذلك تكون الخواص القطبية للماء قد جعلت جزيئات  $HCl$  تتأين . لا يوجد أيون الهيدروجين منفرداً ولكنه يشغل أحد أزواج الاليكترونات غير المتقاسمة على جزيء الماء لتكوين أيون الهيدرونيوم ( $H_3O^+$ ) والمحلول الناتج خليط من أيونات  $H_3O^+$  ،  $Cl^-$  يسمى حامض الهيدروكلوريك .

والآن دعنا نمرر مادة قطبية أخرى  $NH_3$  خلال محلول حامض الهيدروكلوريك . جزيئات الأمونيا لديها زوج واحد من الاليكترونات غير المتقاسمة وهذان هما قابلية لبروتون أكبر مما لزوج الاليكترونات غير المتقاسمة لجزيء الماء . ويترتب على ذلك أن البروتون ينتقل مرة أخرى لتكوين أيون جديد هو أيون الأمونيوم ( $NH_4^+$ ) والماء (الشكل ٣-٢٠-ب) .

بصفة عامة حينما تعطى المادة بروتونات مادة أخرى فإننا نسمى المادة التي تعطى



الشكل ٣-٢٠ . (أ) تكوين حامض الهيدروكلوريك . كل مادة تطلق بروتونات تكون حامض . (ب) التفاعل بين حامض الهيدروكلوريك والأمونيا . جزيء الأمونيا يعمل كقاعدة تستقبل بروتون من أيون الهيدروجين . التفاعل بين حامض وقاعدة يسمى التعادل .

بروتون حامض acid وفي الامثلة السابقة يكون جزيء HCl وأيون الهيدرونيوم  $H_3O^+$  أحماض . أي مادة تستقبل بروتونات تسمى قاعدة base جزيء الماء في المثال الأول والأمونيا في المثال الثاني أدت دورها كقواعد . بينما HCl يوجد في الأنظمة الحية (مثل العصارة المعدية في المعدة ) فان أكثر الأحماض إنتشاراً هي تلك التي تحتوي على مجموعة الكربوكسيل .



ويسهل نزع نواه الهيدروجين (البروتون) من مجموعة الكربوكسيل لتكوين أيون الكربوكسيل .



حامض الخليك ( $CH_3COOH$ ) مثال شائع لحامض كربوكسيلي . فاذا وضع في الماء فان البروتونات الموجودة على مجموعة  $-COOH$  سوف تنجذب إلى أزواج الاليكترونات غير المقسمة على جزيئات الماء وتنتج أيونات الهيدرونيوم ( $H_3O^+$ ) وأيونات الخلات ( $CH_3COO^-$ ) والخل هو محلول مخفف لحامض الخليك .

الأمونيا كذلك توجد في الأنظمة الحية ولكن أوسع القواعد انتشاراً هي تلك الجزئيات التي تشتمل على مجموعة الأمينو amino group .



يعمل زوج الاليكترونات غير المقسمة على إستقبال بروتون تماماً كما يفعل في حالة جزيء الأمونيا . وكذلك تعمل أيونات البيكربونات كقواعد هامة في الأنسجة الحية .



## الوزن الجزيئي والمول MOLECULAR WEIGHT AND THE MOLE

وزن الجزيء هو ببساطة مجموع أوزان كل الذرات التي يتكون منها هذا الجزيء . وحدة الوزن هي أيضاً الدالتون (١٢/١ من وزن ذرة الكربون - ١٢) . الوزن الجزيئي (MW) للماء هو ١٨ دالتون (سوف نغفل الخطأ الطفيف الناجم عن وجود آثار من  $O^{16}$ ,  $H^1$  بين الغالبية من ذرات  $O^{16}$ ,  $H^1$ ).

لماذا كان من الأهمية أن نعرف الوزن الجزيئي لمركب ؟ لتوضيح ذلك دعنا نفترض أنك ترغب في دراسة إستجابة نحل العسل لمحاليل أنواع مختلفة من السكريات .



إحدى الطرق لعمل ذلك هي تحضير عدة محاليل مختلفة لترى أيها يفضلها النحل . وقد تقدم للنحل خياراً بين محلول تركيزه ٣٥٪ من السكروز ( السكر العادي ) ومحلول تركيزه ٣٥٪ من الجلوكوز (أحد المكونات الطبيعية للعسل) . يتطلب ذلك إذابه ٣٥٠ جزء بالوزن (جرام مثلاً) من السكر في كل حالة في ٦٥٠ جزء (جم) من الماء وبذلك تنتج ١٠٠٠ جم من كل محلول . ولكن هناك مشكلة في هذه الطريقة . فإستعداد نحل العسل للاستجابة لوجود السكر مذاًباً في الماء تعتمد على عدد جزيئات السكر في حجم معين من المحلول . ثم إن وزن جزيء السكروز  $342 \text{ MW} =$  يقارب ضعفي وزن جزيء الجلوكوز ( $180 \text{ MW}$ ) . وعلى ذلك فإن محلول الجلوكوز ٣٥٪ سوف يحتوي على ما يقارب ضعفي عدد الجزيئات التي يحتوي عليها محلول السكروز ٣٥٪ . ولحل هذه المشكلة ينبغي عليك أن تحضر المحاليل بحيث يكون وزن السكروز ووزن الجلوكوز بنسبة ٣٤٢ : ١٨٠ وحينئذ يكون نفس تركيز الجزيئات في كل منهما أي أن كل محلول سوف يحتوي على نفس العدد من الجزيئات .

عندما ترزن ٣٤٢ جراماً بالضبط من السكروز تكون قد وزنت واحد مول منه . أي أن المول هو كمية المادة التي يكون وزنها بالجرام مساو عددياً للوزن الجزيئي لتلك المادة . وبذلك يكون المول من الجلوكوز هو ١٨٠ جم . أكثر من ذلك عندما تذيب مولاً واحداً من مادة في كمية من الماء لتبلغ لتر واحد فانك تكون قد حضرت محلول ١ -مولار (1 M) هناك خبار مدرج خصيصاً لذلك مبين في الشكل (٣-٢١) . بعد وضع المادة في المخبار يضاف الماء حتى يصل إلى العلامة المحفورة على عنق المخبار وحينئذ يكون حجم المحلول لتر واحد تماماً .



الشكل ٣-٢١ . خبار عياري . عندما يمتلئ عند الخط المحفور فانه يحتوي على لتر بالضبط . يستعمل هذا المخبار لتحضير محاليل دقيقة المولارية .

وقد يكون المحلول ١ مولار من هذه السكريات أقوى من اللازم لتجربتك مع النحل . وقد يكون من الأفضل تحضير لتر من كل محلول يحتوي على ٢, ٣٤ جم و ١٨, ٠٠ جم على التوالي . تسمى هذه المحاليل عُشر مولار (0.1 M) ولا يزال هذان المحلولان يحتويان على نفس العدد من الجزيئات لأن لكل منهما نفس المولية molarity.

كم عدد الجزيئات في مول واحد ؟ العدد كما تتوقع لابد أن يكون ضخماً : تقريباً  $6 \times 10^{23}$  وهذا العدد يسمى عدد أفوجادرو وقد سُمي كذلك على إسم الكيميائي الذي حاول تقديره لأول مرة . لاحظ أن هذا العدد ينطبق على واحد مول من أي مادة أو جزيء أو أيون . ولذلك يمكن أن نقول واحد مول من الهيدروجين (١ جم).

### ٩-٣ . الأس الهيدروجيني ( درجة الحموضة ) pH

أغلب الخلايا تكون شديدة الحساسية لدرجة حموضة السوائل المحيطة بها . وتقاس درجة الحموضة على مقياس من وحدات pH (الأس الهيدروجيني) . عند إذابة جزيئات كلوريد الهيدروجين في الماء فإنها تتأين بالكامل تقريباً لتكوين أيونات الهيدرونيوم ( $H_3O^+$ ) وأيونات الكلوريد ( $Cl^-$ ) وعلى ذلك فإن محلول 0.1 M من HCl يحتوي على تركيز 0.1 M من أيونات الهيدرونيوم ويوصف مثل هذا المحلول بأن الأس الهيدروجيني له هو ١ . ويمكن أن نعرف الأس الهيدروجيني بأنه اللوغاريتم السالب لتركيز أيونات الهيدروجين (أيونات الهيدرونيوم في الواقع) مقاساً بوحدات مول / لتر . ويتغير 0.1 إلى التعبير العلمي نحصل على  $1 \times 10^{-1}$  والقيمة السالبة للأس هي ١ ولذلك فإن الأس الهيدروجيني هو ١ . والمحلول الذي يحتوي على 0.01 مول/لتر (0.01 M) هو  $1 \times 10^{-2}$  وعلى ذلك يكون الأس الهيدروجيني له هو ٢ وهو أقل حموضة بمقدار عشرة أضعاف من المحلول الأول .

تتحلل جزيئات الماء بقدر قليل جداً لتكون أيونات ( $H_3O^+$  و  $OH^-$ ) ويحتوي لتر من الماء النقي على  $10^{-7}$  مول من أيونات الهيدرونيوم ولذلك فإن الأس الهيدروجيني هو ٧ . ولكن الماء النقي متعادل أي أنه لا حامضي ولا قاعدي . ولذلك فإن الأس الهيدروجيني ٧ يكون متعادل . المواد القاعدية (أو القلوية) هي تلك التي

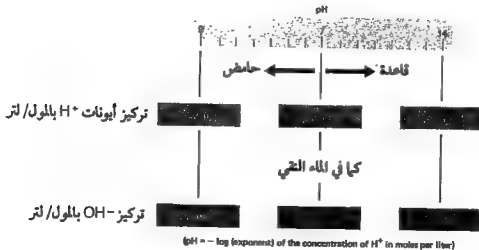
تتحد مع أيونات الهيدرونيوم (مثل  $\text{NH}_3$  و  $\text{HCO}_3^-$ ) لذا فإنها تترك أيونات هيدرونيوم أقل مما يوجد في الماء النقي وهي بذلك تكون محاليل ذات أس هيدروجيني أكبر من ٧ (الشكل ٣-٢٢).

## CHEMICAL CHANGES

## التغيرات الكيميائية

ذكرنا سابقاً أن النسب الوزنية للأكسجين و الهيدروجين في الماء هي ٨ : ١ وهذا انعكاس للنسبة بين أعداد الذرات في الجزيء : ذرة أكسجين (وزن ذري = ١٦) إلى ذرتين من الهيدروجين (وزن ذري = ١). إذا مر تيار كهربائي في ماء يحتوي قدراً كافياً من الأيونات لجعله موصلاً جيداً للكهرباء فإنه يمكننا تحليل الماء إلى مكوناته : الهيدروجين والأكسجين. هذا تغير كيميائي. لقد حدثت إعادة ترتيب للذرات. وبعبارة أخرى فإن بعض الروابط قد تكسرت ونشأت روابط جديدة.

يمكن التعبير عن هذا التغير الكيميائي بمعادلة. في الجانب الأيسر من المعادلة نكتب الصيغ الجزيئية لكل المواد الداخلة في التفاعل reactants في هذه الحالة



الشكل ٣-٢٢. مقياس الأس الهيدروجيني. كل تغير مقدارة وحدة من وحدات الأس الهيدروجيني يعني تغير قدرة عشرة أضعاف في الحموضة. المحلول ذو الأس الهيدروجيني ٧ يكون متعادلاً.

توجد مادة واحدة  $H_2O$  ثم نرسم سهمًا ونكتب صيغ كل النواتج products وكل من الأكسجين والهيدروجين في حالته العنصرية يوجد في صورة جزيئات ثنائية الذرات ولذلك فإن لهما الصيغتان  $O_2, H_2$  والآن تكون المعادلة على النحو

$$2H_2O \rightarrow H_2 + O_2$$

ولكن هناك خطأ ما . فالمادة لا تنفي ولا تستحدث وكل ذرة تشارك في تفاعل كيميائي لابد من أخذها في الحسبان في النواتج والعكس بالعكس . ولذلك لابد من استخدام جزيئات من الماء لنحصل على جزيء واحد من  $O_2$  وتحليل ٢ جزيء من الماء سوف ينتج ٢ جزيء من  $H_2$  وبذلك تكون المعادلة النهائية المتوازنة كالآتي



لاحظ أن الأرقام التي تسبق الصيغ تدلنا على عدد الذرات والجزيئات في التفاعل . فإذا كنا مهتمين بالنسب الوزنية فلا بد أن نضرب في الأوزان الجزيئية . فإذا فعلنا ذلك فإنه من كل ٣٦ وحدات وزنية من الماء نحصل على ٤ أجزاء من الهيدروجين و ٣٢ جزء بالوزن من الأكسجين . فإذا كانت هذه الوحدات الوزنية هي الجرام فإننا نكون قد حللنا ٢ مول من الماء وأنتجنا ٢ مول من الهيدروجين ومول واحد من الأكسجين . والمعادلة المتوازنة لا تنبئنا فقط عن طبيعة المواد الداخلة في التفاعل الكيميائي والناجمة منه ولكنها أيضا تدلنا على النسب التي تستهلك بها المواد المتفاعلة والتي تنتج بها المواد الناتجة منه . ولاحظ كذلك أن كل جرام من المادة يستعمل كمادة داخلية في التفاعل يعاود الظهور كناتج .

### BOND ENERGY

### ١١-٣ طاقة الرابطة

في التحليل الذي سبق وصفه للماء كان لابد من مرور تيار كهربائي في الماء . والكهرباء هي إحدى صور الطاقة . ويمكننا تعريف الطاقة بأنها القدرة على عمل الشغل . ويتطلب تحليل الماء بذل طاقة والسبب في ذلك أنه لابد من الطاقة لكسر الروابط الكيميائية . ولكي يكتمل التفاعل الكيميائي لابد من تكوين روابط كيميائية جديدة . تطلق الطاقة عندما تتكون الروابط الكيميائية . وفي الواقع فإنه لكل رابطة (على سبيل المثال الرابطة التساهمية بين الهيدروجين والأكسجين) تكون كمية الطاقة اللازمة لكسرها مساوية تماما لكمية الطاقة التي تتحرر عند تكوينها . هذه القيمة تسمى طاقة الرابطة .

هناك صور عديدة للطاقة . كهربية وكيميائية . . . . . الخ ولكن جميع صور الطاقة تتحول في النهاية إلى حرارة . ولذلك فمن المألوف (على الأقل بالنسبة لعلماء الأحياء) قياس الطاقة بوحدات الحرارة . والوحدة التي سوف نستعملها هي الكيلو سعر (KCal) . الكيلو سعر هو كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة لتر ماء بقدر درجة مئوية ( $^{\circ}\text{C}$ ) واحدة (يوجد جدول يصف النظام الدولي للوحدات - وهي المستخدمة في كل الأعمال العلمية - على هيئة ملحق في آخر هذا الكتاب) . والكيلو سعر هو أيضا الوحدة المستخدمة لقياس محتوى الأغذية من الطاقة ولذلك ينبغي أن يكون مألوفاً لكل من له علاقة بالتغذية والوصول إلى أو المحافظة على وزن معين للجسم .

نعود مرة أخرى إلى المثال فنجد أنه يلزم ١١٨ كيلو سعر من الطاقة لتحليل ٢ مول من الماء إلى عناصره . في الواقع يلزم أكثر من ١١٨ كيلو سعر لتحليل مول واحد من الماء إلى ذرات هيدروجين وأكسجين ولكن لأن هذه الذرات ترتبط مع بعضها بسرعة لتكوين جزيئات من الهيدروجين والأكسجين فإن بعضاً من هذه الطاقة يعاد إطلاقاً .

طاقة الرابطة للرابطة H-O هي ١١٠ كيلو سعر . وطاقة الرابطة للرابطة H-H هي ١٠٣ كيلو سعر وللرابطة O=O هي ١١٦ كيلو سعر . يتطلب تحليل ٢ جزيء من الماء كسر أربع روابط H-O أي ما يعادل ٤٤٠ كيلو سعر . ويتتج تكوين ٢ مول من الهيدروجين ٢٠٦ كيلو سعر ( $١٠٣ \times ٢$ ) بينما ينتج تكوين ١ مول من الأكسجين ١١٦ كيلو سعر . وبطرح مجموع الطاقة المنطلقة ( $١١٦ + ٢٠٦ = ٣٢٢$  كيلو سعر) من الطاقة المستهلكة (٤٤٠ كيلو سعر) نحصل على الطاقة المبذولة وهي ١١٨ كيلو سعر التي قسناها من قبل .

أين ذهبت هذه الطاقة؟ بعبارة عامة فإنها الآن طاقة كيميائية مخزنة في روابط جزيئات الهيدروجين والأكسجين . والطاقة المخزنة في هذا التفاعل تسمى أيضاً بالطاقة الحرة لأنه كما سنرى بعد قليل فإن الطاقة مازالت متاحة لعمل شغل . ومن المفيد أن يكون لدينا رمز لهذه الطاقة الحرة وسوف نستعمل الحرف G (نسبة إلى جوشوا ويللاردجيز الذي وضع مبدأ الطاقة الحرة) .

ماهي الطاقة الحرة؟ الطاقة الحرة هي الطاقة التي يمكن التحكم فيها لعمل شغل . الماء المختزن خلف سد له طاقة حرة وحينئذ يسمح لها بالسقوط خلال توربينات فإنه

يمكن توليد الكهرباء (صورة أخرى من صور الطاقة الحرة). التوتر المخزن في زنبرك الساعة هو طاقة حرة ويتم التخلص منه جزءاً فجزءاً لتحريك العقارب. ولكن بالنسبة لعلماء الأحياء فإن أهم صورة من صور الطاقة الحرة هي الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية وهذه بدورها يمكن التحكم فيها لعمل شغل. عندما نرفع ثقلاً فإننا نستخدم الطاقة الحرة المخزنة في روابط جزيئات الغذاء لتشغيل آلة هي عضلاتنا. ومع ذلك فإن كفاءة تحويل الطاقة الحرة إلى شغل ليست ١٠٠٪ فعندما تقلص عضلاتنا فإن كثيراً من الطاقة الحرة في الغذاء تنطلق على هيئة حرارة وهذه الطاقة لم تعد حرة فليس هناك من سبيل للتحكم في حرارة العضلات لأداء شغل مفيد.

عندما تدرس الكيمياء الفيزيائية فإنك سوف تكتشف أن هناك اعتبارات عديدة أخرى متعلقة بفكرة الطاقة الحرة ولكنها لا نهما هنا وسوف تستخدم رموزاً أخرى كثيرة (مثل  $\Delta G$ ). ولكننا سوف نقتصر فقط على الرمز  $G$  كما سنرمز للتغير في الطاقة الحرة بالرمز  $\Delta G$ . وفي تحليل الماء فإن الطاقة لم تفقد ولكنها إختزنت في النواتج ولذلك فإننا نعطي التعبير في الطاقة الحرة علامة موجبة وبذلك يمكن التعبير عن هذا التفاعل كالآتي :



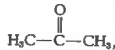
إذا كنت محظوظاً فأنت قد تكون شاهدت مرة مدرس الكيمياء وهو يشعل خليطاً من الهيدروجين والأكسجين. فإذا لم تكن شاهدت ذلك فليس أمامك ببساطة سوى أن تصدقني بأن النتائج درامية (ولكن هذه التجربة محفوفة بالمخاطر فلا يجب أن تحاولها بنفسك). النتيجة هي إنفجار مربع. والمعادلة الخاصة بهذا التفاعل الكيميائي هي عكس المعادلة السابقة تماماً :  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$  أما الانفجار فهو يبين أن هناك إنطلاق للطاقة في هذه المرة. وفي الحقيقة فإن التغير في الطاقة الحرة هو مرة أخرى ١١٨ كيلو سعر وذلك بسبب أن كسر الروابط  $H-H, O=O$  يلزمه فقط ٣٢٢ كيلو سعر بينما يتحرر ٤٤٠ كيلو سعر عند تكوين ٤ مول من روابط  $H-O$  ونعبر عن خروج الطاقة من النظام التفاعلي بوضع علامة سالبة قبل  $\Delta G$  وبذلك تكون المعادلة على النحو التالي :



ما الذي يحدد مقدار طاقة الرابطة لنوع معين من الروابط؟ هناك عوامل عديدة ولكن أهمها بالنسبة لنا هو الاختلاف في السالبية الكهربية بين الذرتين التي تنشأ الرابطة بينهما. فطاقة الروابط بين ذرات بينها فرق كبير في السالبية الكهربية تميل إلى الارتفاع. مثال ذلك المائة وعشرة كيلو سعر للرابطة  $H-O$ . مثال آخر هام هو الروابط بين ذرات الأكسجين والكربون في ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$ . تتقاسم ذرة الكربون زوجين من الالكترونات مع كل من ذرتي الأكسجين. وكل من هذه الروابط المزدوجة double bonds لها طاقة رابطة ١٨٧ كيلو سعر (أو حوالي ٩٣ كيلو سعر لكل زوج من الالكترونات المقتسمة) وكلما زادت طاقة الرابطة كلما زادت الطاقة اللازمة لكسر الرابطة ولذلك فإن الروابط بين الذرات ذات السالبية الكهربية المتباينة تكون قوية جدا ومستقرة.

وعلى الجانب الآخر فإن طاقة الروابط بين الذرات ذات السالبية الكهربية المتشابهة تميل إلى القلة. وطبيعي عندما تكون الذرات متشابهة (مثل  $C-C, O=O$ ) لا يكون هناك اختلاف في السالبية الكهربية وتكون طاقة الروابط منخفضة. فكل زوج من الالكترونات المقتسمة في جزيء الأكسجين يعادل ٥٨ كيلو سعر باجمالي ١١٦ في كل جزيء، كما رأينا من قبل. طاقة الرابطة  $C-C$  هي ٨٠ كيلو سعر. وهناك فارق بسيط في السالبية الكهربية بين الكربون والهيدروجين وطاقة رابطة مقدارها ٩٨ كيلو سعر. وحسب التعريف فإن الروابط ذات الطاقة المتدنية يكون كسرها أسهل ولذلك فإن مثل هذه الروابط تكون أضعف وأقل استقرارا.

ينبغي علينا أن نلاحظ أيضا أن الطاقة اللازمة لكسر رابطة ما (بين الكربون والأكسجين) قد تتأثر بطبيعة الذرات الأخرى المتصلة بالذرات المعنية وعلى ذلك فالرابطة المزدوجة  $C=O$  في ثاني أكسيد الكربون ( $O=C=O$ ) لها طاقة قيمتها ١٨٧ كيلو سعر بينما تكون هذه القيمة أقرب إلى ١٨٠ كيلو سعر حينما توجد كجزء من جزيء أكبر مثل.



وبسبب هذا التباين فإنه من الحكمة أن نتكلم عن متوسط طاقة الرابطة. وباستخدام جدول متوسطات طاقة الرابطة المبين في الشكل (٣-٢٣) فإننا نتمكن من إكتشاف عدة مبادئ هامة مع توضيحية بسيطة وغير هامة بالدقة العديدة.

الشكل ٣-٢٣ .

متوسطات طاقة الرابطة كيلو سعر / مول

C-H	٩٨	
O-H	١١٠	
C-C	٨٠	
C-O	٧٨	
H-H	١٠٣	
C-N	٦٥	
O=O	١١٦	(٥٨×٢)
C=O	١٨٧*	(٩٣,٥×٢)
C=C	١٤٥	(٧٢,٥×٢)

\* كما في حالة CO<sub>2</sub>

## ١٢-٣ . تفاعلات الأكسدة - الاختزال

## OXIDATION-REDUCTION REACTIONS

معظم التفاعلات التي درسناها تتضمن تغيير موقع الإلكترونات . ففي تفاعل الكلور مع الصوديوم على سبيل المثال تفقد كل ذرة صوديوم إلكترون يذهب الى ذرة الكلور . في مثل تلك الحالة يقال للذرة التي فقدت الإلكترون أنها تأكسدت oxidized أما الذرة التي اكتسبت الإلكترون فيقال إنها اختزلت reduced . والعملتان مرتبطتان ولا يمكن الفصل بينهما . فكلما فقدت مادة الإلكترونات فإنها تكون قد تأكسدت أما المادة التي أعطيت لها هذه الإلكترونات فإنها تسمى العامل المؤكسد . لاحظ كذلك أن أي مادة تعمل كعامل مؤكسد ويتم اختزالها . وحيث أن تفاعلات الأكسدة والاختزال متلازمة دائماً فإننا نسميها تفاعلات ريدوكس redox reactions .

قد تتعجب لماذا يسمى التفاعل بين الصوديوم والكلور أكسدة بينما الأكسجين لا يدخل له بهذا التفاعل . والاجابة ببساطة أنها مسألة تاريخية . فالأكسجين له قابلية عالية للالكترونات (هو العنصر ذو ثاني أعلى سالبية كهربية) وهو لذلك عامل مؤكسد ممتاز



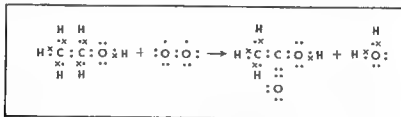
وشائع ويسبب فاعليته في هذا الدور فقد أمدنا باسم لكل التفاعلات من هذا النوع (في الواقع فإن الفلور هو الذي له أعلى ساليه كهربية وربما كان الأصح أن تسمى العملية فلورة flourination ولكن المصطلح يستعمل لعملية مختلفة تماماً وهي إضافة كميات ضئيلة من أيونات الفلوريد  $F^-$  إلى مصادر مياه الشرب).

بعض تفاعلات الأكسدة الحيوية تشتمل فعلاً على إضافة الأكسجين إلى الجزيء المتأكسد. عندما يتعرض الايثانول (كحول) للهواء وفعل بكتيريا الخل فإنه يتحول إلى حامض الخليك والماء (الخل) معادلة هذا التفاعل هي :



نفس المعادلة باستعمال الصيغ الالكترونية النقطية مبينة في الشكل (٣-٢٤) لاحظ ذرة الأكسجين التي أضيفت إلى الايثانول لتكوين حامض الخليك. ولأن الفرق في السالبية الكهربية بين ذرات الكربون والأكسجين ليس بمثل الفرق بين الأكسجين والمغنيسيوم مثلاً فإن ذرة الأكسجين المضافة لاتبعد الالكترونات بالقدر الذي يكفى لتكوين أيونات ولكنها مع ذلك تجتذب إلكترونيين بعيداً عن ذرة الكربون وتقربهما منها (الشكل ٣-٢٤).

أكثر صور تفاعلات الأكسدة الأحيائية تكون بانتزاع ذرات الهيدروجين من مادة. وأكسدة الايثانول يتمثل فيها هذا النوع من الأكسدة حيث تستبعد ذرتي هيدروجين بواسطة ذرة الأكسجين الثانية وهي تتحد جميعاً لتكوين جزيء ماء. وعلى الرغم من أن تفاعلات الأكسدة تكون مصحوبة دائماً بالاختزال فإننا غالباً ما نبرز جانب الأكسدة في التفاعلات حينها تنتقل الالكترونات من ذرة ذات ساليه كهربية ضعيفة إلى أخرى ذات ساليه كهربية قوية. وما تفاعلات الصوديوم مع الكلور والهيدروجين مع



الشكل ٣-٢٤. أكسدة الايثانول. تحدث الأكسدة عن طريق إضافة ذرة أكسجين ونزع ذرات هيدروجين. في كل حالة تتبعد إلكترونيات عن ذرات الكربون.

الأكسجين والايثانول مع الأكسجين إلا أمثلة لذلك. وفي كل هذه الحالات تنطلق الطاقة الحرة وذلك لأن الروابط الضعيفة قد كسرت وروابط قوية نشأت. ونحن نستغل تفاعلات الأكسدة التي تتميز بقيمة عالية من  $\Delta G$  لتدفئة بيوتنا وتسيير مركباتنا وممارسة كل النشاطات الأيضية الضرورية للحياة.

من الممكن أيضا إعادة إلكترونيات من ذرات عالية السالبة الكهربائية إلى ذرات ضعيفة السالبة الكهربائية. في هذه الحالة تكون  $\Delta G$  ذات قيمة موجبة أي أنه لابد من بذل بعض الطاقة لانعكاس التفاعل. وعادة ما نبرز جانب الاختزال في مثل هذه التفاعلات. ولتأخذ مثلا سابقا وهو أن تحليل ٢ مول من الماء كان يتطلب بذل ١١٨ كيلو سعر. فقد أكسدنا ذرات الأكسجين (لفقدتها للإلكترونات) واختزلنا ذرات الهيدروجين. لقد كسرنا في الواقع روابط قوية (H-O) ونشأت روابط ضعيفة C-O, H-H وعلى ذلك فإن الروابط الضعيفة تعمل كوسيلة لتخزين الطاقة وهذه الطاقة كيميائية. وبمجرد أن نسمح للإلكترونات بالعودة إلى الذرات عالية السالبة الكهربائية تنطلق الطاقة.

وسوف نرى في البابين ٧ ، ٨ أن الحياة على الأرض يمكنها أن تستمر لأنها تستغل تفاعلات ريدوكس. فهي تستخدم هذه التفاعلات لاختزان الطاقة الشمسية ثم لإطلاق هذه الطاقة عند الحاجة لأداء الوظائف المميزة للكائنات الحية. في البناء الضوئي تستغل الطاقة الشمسية لنقل الإلكترونات (المرتبطة مع البروتونات - أي ذرات الهيدروجين) من ذرات عالية السالبة الكهربائية (الأكسجين) إلى ذرات ضعيفة السالبة الكهربائية (الكربون). في هذه العملية تنكسر روابط قوية (H-O, C-O) ونشأت روابط ضعيفة (C-H وعلى الأخص O-O). عكس هذه العملية هو التنفس الخلوي ففي هذه الحالة تعود الإلكترونات إلى شركائها الأصليين وتتححر الطاقة التي كانت قد إحتزنت لتفيد الكائن الحي. وعلى ذلك فإن الفوارق في طاقة الروابط الكيميائية تجعل من الممكن تشغيل نوع من البطاريات: إختزان طاقة الشمس وإطلاقها عند الحاجة للمحافظة على الحياة.

### ملخص الباب

### CHAPTER SUMMARY

الكائنات الحية مخلوقات معقدة من المركبات. من بين العناصر التسعين الموجودة على الأرض يشترك ٢٤ في نشاطات الحياة. ذرات كل عنصر تحتوي على عدد خاص

بها من البروتونات ومثلة من الاليكترونات. عدد وترتيب الاليكترونات يحدد الخواص الكيميائية للعنصر. تتكون المركبات من ذرات موجودة مع بعضها بنسب ثابتة وتساكك الذرات بروابط أيونية أو تساهمية أو تساهمية قطبية ويعتمد نوع الروابط بين الذرات الى درجة كبيرة على السالبية الكهربية للذرتين. وحينما تكون الروابط تساهمية أو تساهمية قطبية فان الذرات تكون جزيئات.

يتطلب كسر الرابطة الكيميائية قدراً معيناً من الطاقة يسمى طاقة الرابطة. وتنتقل نفس الكمية من الطاقة عندما تنشأ تلك الرابطة. وجود ذرة هيدروجين بين ذرتين عاليتي السالبية الكهربية (مثل ذرات الأكسجين) يسمح بتكوين رابطة هيدروجينية وبينما تكون طاقة الروابط الهيدروجينية أقل منها في الأنواع الأخرى من الروابط فان للروابط الهيدروجينية وظائف أساسية في المادة الحية.

لأن الأيونات والجزيئات القطبية تنجذب الى جزيئات الماء فانها توصف بأنها محبة للماء أما الجزيئات غير القطبية فانها لاتنجذب نحو جزيئات الماء ولذا فهي كارهة للماء. أي مركب يطلق بروتونات فهو حامض وكل مركب يجذب البروتونات فهو قاعدة. ودرجة حموضة المحلول هي دالة تركيز البروتونات فيه ويتم التعبير عنها بمقياس الأس الهيدروجيني.

تفاعلات ريدوكس تشتمل على إنتقال إليكترونات من مادة (أيون أو جزيء) إلى أخرى. المادة التي تفقد إليكترونات تتأكسد والمادة التي تكتسب إليكترونات تختزل. والطاقة إما أن تخزن أو تتحرر في تفاعل ريدوكس ويتوقف ذلك على إنتقال الاليكترونات من ذرات عالية أو منخفضة السالبية الكهربية.

لعلك تكون قد وعيت الآن وبعد دراسة هذا الباب ما لمبدأ السالبية الكهربية من أهمية واسعة فقد رأينا الدور الذي تلعبه السالبية الكهربية في تحديد ما إذا كان لتفاعلات ريدوكس  $\Delta G$  - أو  $\Delta G$  +. ومن خلال الربط بين النوع الأول والنوع الثاني فقط يمكن لتلك الجزيئات المنظمة للعقدة التي هي الحياة أن توجد على الأرض.

وقد رأينا تأثير السالبية الكهربية على مقدار طاقة الروابط وبالتالي على قوة وضعف الروابط الكيميائية كما رأينا كيف أن الفوارق في السالبية الكهربية تخلق روابط قطبية

تؤدي بدورها إلى تخليق مركبات قطبية والقطبية (أو غيابها) تؤدي بالتالي إلى درجة الذوبان في الماء أي إما أن تكون المادة محبة للماء أو كارهة له . الفوارق في السالبية الكهربائية وقطبية الجزيئات أو أجزاء الجزيئات الناجمة عنها تهيء المجال لتكوين روابط هيدروجينية وكما سنرى في الباب التالي فإن الروابط الهيدروجينية تلعب دورا هاما في تكوين الجزيئات العملاقة المميزة للمادة الحية : البروتينات والأحماض النووية وعديدات السكر.

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - أي المواد الآتية تتكون من جزيئات : (أ) الأكسجين (ب) الماء . (ج) كلوريد الصوديوم (د) الجلوكوز (هـ) الصلب ؟
- ٢ - فرق بين الذرة والأيون .
- ٣ - ماهو الأيون الذي تنتجته جميع الأحماض ؟
- ٤ - ماهو وزن مول من الميثان  $CH_4$  بالجرام ؟
- ٥ - كم ميلليجرام (مجم) من الجلوكوز تذيبها في لتر من الماء لتحضير محلول تركيزه واحد جزء في المليون (ppm) ؟
- ٦ - أكتب الصيغة الالكترونية النقطية لجزيئات : (أ) الماء (ب) الأمونيا (ج) الميثان (د) الايثان  $CH_3CH_3$  (هـ)
- ٧ - لخص الاختلافات بين المخاليط والمركبات .
- ٨ - ميز بين المركبات العضوية والمركبات غير العضوية .
- ٩ - أي العناصر الآتية تتوقع أن تتفاعل مع الكلور : (أ) الهيدروجين (ب) النيتروجين (ج) الصوديوم (د) الفلور (هـ) الكالسيوم (و) الكربون ؟
- ١٠ - التحليل الكيميائي لمادة مايبثت أن النسبة بين ذرات الكربون وذرات

- الهيدروجين هي ١ : ٣ والوزن الجزيئي لهذه المادة هو ٣٠. ما هي الصيغة الجزيئية ؟
- ١١ - بين بالصيغة الاليكترونية النقطية اتحاد ذرة الليثيوم (٣ إلكترونيات) مع ذرة الفلور (٩ إلكترونيات).
- ١٢ - يحتاج الطالب الى ٢٠٠ ميليلتر من محلول 0.1 M هيدروكسيد الصوديوم. ما هو وزن المادة الصلبة المستعملة ؟
- ١٣ - ما هو الوزن الجزيئي (MW) لحامض الخليك  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ؟
- ١٤ - أي المواد الآتية تتوقع أن تذيب بسهولة في الماء - إشرح :
- (أ) KCl (ب)  $\text{CCl}_4$  (ج)  $\text{N}_2$  (د)  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ؟
- ١٥ - ما هو حجم محلول من حامض الهيدروكلوريك تركيزه 0.4 M يتعادل مع ٢٠٠ ميليلتر من محلول NaOH تركيزه 0.2 M ؟
- ١٦ - حاول أن تتنبأ إذا كان الأس الهيدروجيني أكبر أو أقل من ٧ عند إذابة كل من المواد الآتية في الماء :
- (أ) HBr (ب)  $\text{NaHCO}_3$  (ج)  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  (د)  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  (هـ) NaCl .
- ١٧ - حول ٩٨,٦ درجة فهرنهايت إلى درجات مئوية .
- ١٨ - ما هو الأس الهيدروجيني لمحلول فيه 0.001-M من أيونات الهيدروجين ؟
- ١٩ - أكتب الصيغة الاليكترونية النقطية لرابع كلوريد الكربون  $\text{CCl}_4$  .
- ٢٠ - حينما يحترق الميثان  $\text{CH}_4$  في جو من الأكسجين ينتج ثاني أكسيد الكربون والماء. أكتب معادلة متوازنة للتعبير عن هذا التغير الكيميائي . ما هو التغير في الطاقة الحرة ( $\Delta G$ ) لهذا التفاعل ؟ هل  $\Delta G$  سالبه أو موجبة ؟ ما هي المادة التي تأكسدت ؟ وما هي المادة التي اختزلت ؟

## REFERENCES

## المراجع

1. BAKER, J.J. W., and G.E. ALLEN, Matter, Energy, and Life : An Introduction for Biology Students, 4th ed., Addison-Wesley, Reading, Mass., 1981. A small book that covers topics in chemistry and physics, elected and developed with the needs of biology students in mind.
2. ALLEN, T.L., and R.M. KEEFER, Chemistry : Experiment and Theory, Harper & Row, New York, 1974 An introductory textbook.

## CHAPTER 4

## الباب الرابع

### THE MOLECULES OF LIFE

### جزيئات الحياة

#### HYDROCARBONS

١-٤ الهيدروكربونات

#### LIPIDS

٢-٤ الليبيدات

#### CARBOHYDRATES

٣-٤ الكربوهيدرات

SUGARS

السكريات

STARCHES

النشويات

CELLULOSE

السليلوز

#### PROTEINS

٤-٤ البروتينات

STRUCTURE OF AMINO ACIDS

تركيب الأحماض الأمينية

STRUCTURES OF POLYPEPTIDES

تركيب عديدات الببتيد

PROTEIN STRUCTURE AND FUNCTION

تركيب ووظيفة البروتين:

SOME RELATIONSHIPS

بعض العلاقات

#### NUCLEIC ACIDS

٥-٤ الأحماض النووية

#### CHAPTER SUMMARY

ملخص الباب

#### EXERCISES AND PROBLEMS

تمارين ومسائل

#### REFERENCES

المراجع





## الباب الرابع

### جزيئات الحياة

الشكل ٤-١ الجزيئات العضوية هي البروتينات والأحماض النووية والدهون وغيرها من الليبيدات والفيتامينات. البقية غير عضوية.

التركيب الجزيئي للطفل البشري

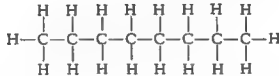
ماء	٦٦٪
بروتين + أحماض نووية	١٦٪
دهون وليبيدات	١٢,٥٪
رماد (معادن)	٥٪
كربوهيدرات	٠,٥٪
فيتامينات	آثار

العنصر الوحيد الذي يميز المادة الحية أكثر من سواه هو الكربون. الكربون مهياً لهذا الدور لأن (١) يمكنه تكوين أربع روابط تساهمية مع أربع ذرات أخرى أى أنه رباعي التكافؤ، (٢) يمكنه تكوين روابط تساهمية مع ذرات كربون أخرى لتكوين سلاسل. هاتان الخاصيتان تمكنان الكربون من العمل كعمود فقري لتكوين أنواع تكاد تكون لانهائية من الجزيئات. هذا التنوع ضروري لهذا التنظيم بالغ التعقيد لمادة كالمادة الحية لاعجب إذن أن تكون الجزيئات المحتوية على الكربون هي أساس الحياة نفسها (الشكل ٤-١). وفي الحقيقة فإن كيمياء مركبات الكربون تسمى الكيمياء العضوية Organic Chemistry حيث أن هذه المركبات ترتبط ارتباطاً شبيه تام بالكائنات الحية.

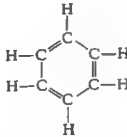
## HYDROCARBONS

## ١-٤ الهيدروكربونات

أبسط الجزيئات العضوية هي الهيدروكربونات وهي التي تتكون فقط من الكربون والهيدروجين. والميثان  $CH_4$  هو أبسط الهيدروكربونات. ولكن بفضل قدرة ذرات الكربون على الترابط مع بعضها فإن الهيدروكربونات توجد في سلاسل. وعلى سبيل المثال فإن الأوكتان (وهو أحد مكونات الجازولين) به ثمان ذرات كربون متصلة ببعضها في سلسلة مستقيمة وصيغته التركيبية هي :



توجد الهيدروكربونات أيضاً في حلقات. والبنزين هو أكثرها إنتشاراً وله الصيغة التركيبية



لاحظ أن ذرات الكربون يمكنها أن ترتبط فيما بينها بواسطة روابط تساهمية مزدوجة تماماً كما ترتبط بروابط تساهمية مفردة. وسيكون لدينا الفرصة للتعامل مع مركبات حلقية. ولكي يسهل تفسير صيغ هذه المركبات فإننا سوف نرسم الحلقة من ذرات الكربون كشكل هندسي بسيط - الشكل السداسي مثلاً للبنزين. وعلى ذلك يمكن رسم حلقة البنزين كالآتي :



## ٢-٤ الليبيدات

## LIPIDS

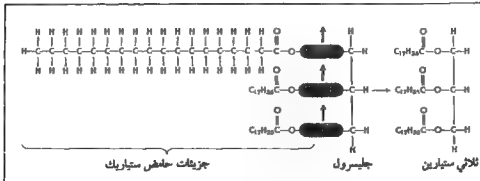
الليبيدات هي مركبات عضوية كارهة للماء أي أنها قليلة أو عديمة الذوبان فيه .  
توجد أنواع من الليبيدات في الخلايا الحية ولكننا سوف نركز على ثلاث منها فقط :  
الدهون والفوسفوليبيدات والستيرويدات .

يتكون جزيء الدهن من أربعة أجزاء : جزيء جليسرول وثلاثة جزيئات من الأحماض الدهنية (الشكل ٢-٤) . ويتكون كل حامض دهني من سلسلة هيدروكربونية في إحدى نهاياتها مجموعة كربوكسيل . جزيء الجليسرول به ثلاث مجموعات هيدروكسيل (-OH) وكل منها تستطيع التفاعل مع مجموعة كربوكسيل لحامض دهني ويُتَزَع جزيء ماء في هذه العملية ليتصل الحامض الدهني بجزيء الجليسرول ( الشكل ٢-٤ ) . وقد تكون الأحماض الدهنية الثلاثة في جزيء واحد من الدهن متشابهة أو قد تكون مختلفة . وقد تتكون من عدد قليل من ذرات الكربون يصل إلى أربعة أو قد يزيد العدد ليصل إلى ٢٤ . لأن الأحماض الدهنية تتخلق من قطع تحتوي على فرتين من الكربون فإن عدد ذرات الكربون في السلاسل يكون زوجيا دائما تقريبا .

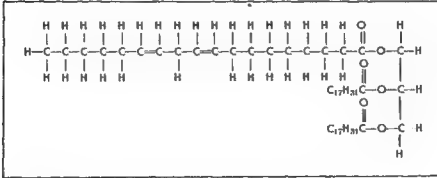
حامض البالميتيك وبه ١٦ ذرة كربون وحامض الستياريك (١٨ ذرة كربون) هما أوسع الأحماض الدهنية إنتشاراً في الدهون الحيوانية .

توجد ببعض الأحماض الدهنية رابطة أو رابطتان مزدوجتان بين ذرات الكربون

الشكل ٢-٤ . تخليق الدهن ثلاثي ستيرين



(الشكل ٤-٣). الدهون التي تتكون من هذه الجزيئات توصف بأنها غير مشبعة -unsaturated وذلك لأن هذه الأحماض الدهنية يمكنها إستيعاب المزيد من ذرات الهيدروجين. الدهون غير المشبعة لها درجات إنصهار أقل مما للدهون المشبعة ولأن أغلبهم سائل عند درجة حرارة الغرفة فأننا نسميهم زيوت. وما زيت بذرة القطن وزيت الفول السوداني وزيت السمسم وزيت الزيتون إلا أمثلة شائعة من محتويات المطبخ. وكما يبدو من هذه القائمة فإن الدهون النباتية تميل إلى أن تكون غير مشبعة (وبالتالي فهي زيوت) بينما الدهون الحيوانية تميل إلى أن تكون مشبعة. وهناك دلائل متزايدة على أن الغذاء الغني بالدهون المشبعة مرتبط بحدوث أمراض القلب والشرايين الرئيسية. أما الدهون غير المشبعة فلا يبدو أن لها مثل هذا التأثير. الصيغة الجزيئية لثلاثي ستيرين (دهن حيواني شائع) هي  $C_{57}H_{110}O_6$  النسبة الكبيرة بين ذرات الهيدروجين وذرات الأكسجين تدلنا على أن هذا الجزيء مختزل بدرجة عالية. الغالبية العظمى من الروابط التساهمية هي C-H, C-C بمتوسط طاقة رابطة مقدارة حوالى ٨٠ كيلو سعر و ٩٨ كيلو سعر على التوالي. وهذه الروابط ضعيفة نسبياً كما قد نتوقع ذلك من الفوارق الطفيفة جداً في السالبية الكهربية بين الذرات. وذلك يعني إذن أن الدهون هي مستودعات غنية بالطاقة وفي الواقع فإن الدهون والزيوت تمد الكائن بأعلى إحتياطي متاح من الطاقة المركزة. الشكل ٤-٤ يبين بندقية مشتعلة وكأنها شمعة بفضل مخزونها الكبير من الزيت.



الشكل ٤-٣. تركيب الدهن غير المشبع ثلاثي لينولين. توجد رابطتان مزدوجتان في كل وحدات الأحماض الدهني. تسيل الدهون غير المشبعة عند درجة حرارة أقل من درجة إنصهار الدهون المشبعة ولذا فهي تسمى زيوت.



الشكل ٤-٤ . بندقية مشتعلة .

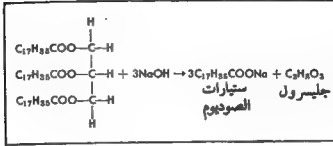
كما يعني الغياب شبه الكامل لأي فوارق في السالبية الكهربية أن جزيئات الدهون ليست ذات طبيعة قطبية بالمرّة (ونصفها بأنها لاقطبية (apolar) وهذا هو سبب كراهيتها للماء وعدم قدرتها على الارتباط بجزيئات الماء ذات القطبية القوية. وعلى ذلك فإن خليط من الزيت والماء لا يلبث أن ينفصل إلى طبقة من الزيت تطفو على سطح الماء.

عند معالجة دهن بقاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم تنكسر الروابط بين الأحماض الدهنية والجليسرول. مجموعات الهيدروكسيل ( $-OH$ ) من  $NaOH$  تعيد جزيئات الجليسرول بينا أيونات الصوديوم تنجذب نحو مجموعات الكربوكسيل في كل حامض دهني. فإذا بدأنا مثلاً بجزء ثلاثي ستيرين فإننا نحصل على ثلاثة جزيئات من ستيرات الصوديوم وجزء واحد من الجليسرول (الشكل ٤-٥). ستيرات الصوديوم هي الصابون. في الحقيقة فقد إستعملت مجتمعات ما قبل التصنيع نفس هذه العملية لتحضير الصابون من منتجات تراكُم بالمنازل: الدهن ورماد الخشب (وهو مصدر للحصول على  $NaOH$ )

وظيفة الصابون أو أي منظف آخر هي أن يجعل المواد الزيتية قابلة للاختلاط بالماء. وبالنظر إلى تركيب ستيرات الصوديوم يمكن أن نرى لماذا تنصرف على هذا النحو. فلأحدى نهايات الجزيء هيدروكربونية مما يعني أنها كارهة للماء ويمكنها أن تختلط بسهولة مع مواد أخرى كارهة للماء مثل الزيوت. أما النهاية الأخرى فلها مشحونة وبالتالي قطبية وهي محبة للماء وتتفاعل مع جزيئات الماء. تكون النتيجة جزيء مزدوج المحبة

## شكل ٤ - ٥ . تكوين

ستياريات الصوديوم  
«صابون» والجليسول من  
ثلاثيستيارين وهيدروكسيد  
الصوديوم. سلسلة  
الهيدروكربون في جزيء  
الصابون كارهة للماء بينما  
النهاية المحتوية على مجموعة  
الكربوكسيل محبة للماء.

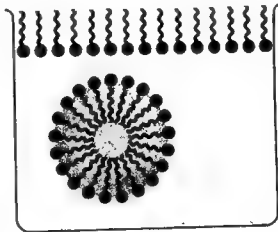


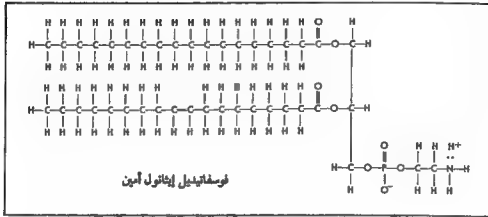
الماء amphiphilic كارهة للماء عند إحدى النهايات ومحبة للماء عند الأخرى، عندما يختلط بالماء لا يمكنه تكوين محلول حقيقي ولكن يكون قطرات (الشكل ٤-٦) حيث تكون الرؤوس المحبة للماء من جزئيات الصابون معرضة للماء بينما الذيل الكارهة للماء في الداخل مختلطة مع المواد الأخرى الكارهة للماء (مثل الشحم). هذه القطرات تكون مستحلب emulsion.

الليبيدات مزدوجة المحبة للماء هي إحدى المكونات الرئيسية للخلايا. في أكثر هذه المواد انتشاراً تحمل مجموعة قطبية محل واحد من الأحماض الدهنية في جزيء دهن. في معظم الحالات تحتوي هذه المجموعة القطبية على مجموعة فوسفات ( $\text{PO}_4$ ) ولذلك

## الشكل ٤-٦. طريقتان

لتفاعل جزئيات المنظف مثل الصابون مع الماء. يكون الصابون طبقة عند سطح الماء بحيث تكون الذيل الكارهة للماء متجهة بعيداً عن الماء وتكون قطرة الزيت البعيدة عن سطح الماء مكسوة بجزئيات الصابون التي تتجه رؤوسها المحبة للماء نحو الماء بينما تكون الذيل الكارهة للماء متجهة نحو قطرة الزيت وهذا يكون مستحلب من الزيت والماء.





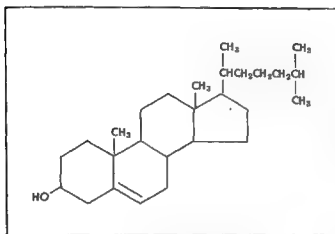
الشكل ٧-٤. تركيب فوسفوليبيد عادي - جزيء مزدوج المحبة للماء. السلاسل الهيدروكربونية كارهة للماء بينما الشحنات على مجموعات الفوسفات والأمينو تجعل هذا الجزء من الجزيء محب قوي للماء. الفوسفاتيديل إيثانول أمين هو أحد المكونات الرئيسية لأغشية الخلية.

تسمى هذه المركبات بالفوسفوليبيدات phospholipids. أكثر هذه الفوسفوليبيدات في الخلايا هو فوسفاتيديل إيثانول أمين phosphatidyl ethanolamine أو كيفالين cephalin (الشكل ٧-٤). وسوف نرى في الباب التالي أن هذا الفوسفوليبيد هو مكون رئيسي في الأغشية المختلفة المستخدمة في بناء الخلايا.

يتم تخليق وإفراز مجموعة أخرى من الليبيدات مزدوجة المحبة للماء في كبد الثدييات وهي أملاح المرارة bile salts. هذه الليبيدات مختلفة تماماً في التركيب عن الدهون والفوسفوليبيدات. ومع ذلك فإن طبيعتهم مزدوجة المحبة للماء - كارهة للماء في أحد أجزاء الجزيء وعبة للماء في الآخر - جعلت منهم منظفات ممتازة. فهي تستحلب الدهون المأكولة مما يسهل كثيراً هضم وامتصاص الدهون في الأمعاء.

والأملاح المرارية أعضاء في مجموعة كبيرة من الليبيدات المشابهة تسمى ستيرويدات steroids. جميع الستيرويدات لها هيكل من ١٧ ذرة كربون مرتبة في أربع حلقات (الشكل ٨-٤). يختلف كل ستيرويد عن الآخر في موقع وطبيعة المجموعات الجانبية المتصلة به وغالباً في موقع بعض الروابط المزدوجة.

أكثر الستيرويدات وجوداً في الجسم البشري هو الكوليستيرول cholesterol (حوالي نصف رطل لكل شخص) ومنه يتم تخليق الأملاح المرارية وأحد الفيتامينات (د) وعدد من الهرمونات. جميع هرمونات الجنس (مثل الاستروجينات estrogens)



الشكل ٨-٤.  
الكوليستيرول أكثر  
الستيرويدات وجوداً في  
الجسم البشري. مثل كل  
الستيرويدات فهو يتركب من  
هيكل به ١٧ ذرة كربون  
مرتبة في ٤ حلقات (ملونة).  
الكوليستيرول هو المادة التي  
يبدأ منها تخليق الستيرويدات  
الأخرى التي يستخدمها  
الجسم.

والبروجسترون و testosterone هي ستيرويدات .

## CARBOHYDRATES

## ٣-٤ الكربوهيدرات

الكربوهيدرات لها الصيغة الجزيئية العامة  $CH_2O$  وبهذا التعبير ترى لماذا كان يظن أنها تمثل كربون متمميء hydrated carbon ولكن في الواقع ترتيب الذرات ليس له إلا علاقة طفيفة بجزيئات الماء.

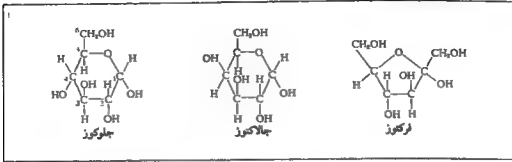
إنسان من الكربوهيدرات الشائعة هما النشا والسيليلوز وكلاهما جزيئات ضخمة ذات أوزان جزيئية بمئات الآلاف. وإنهم من الضخامة بحيث أننا نسميها الجزيئات الكبيرة macromolecules وكل منهم عبارة عن بوليمر polymer أي أن كلا من جزيئات النشا والسيليلوز يتكون من وحدات عديدة متكررة تماماً كما في سلسلة مكونة من حلقات. والحلقات في كل من النشا والسيليلوز واحدة : وحدات من السكر تسمى جلوكوز glucose. فجزيئات الجلوكوز إذن هي الوحدات monomer التي يتكون منها كل من هذه البلمرات.

## SUGARS

## السكريات

الجلوكوز له الصيغة الجزيئية  $C_6H_{12}O_6$  وصيغته التركيبية مبينة في الشكل (٩-٤). تترايط خمس من ذرات الكربون الست مع ذرة الأكسجين في حلقة، أما بقية الذرات فانها تمتد فوق أو تحت مستوي الحلقة ونسبة إلى وجود ست ذرات كربون فان



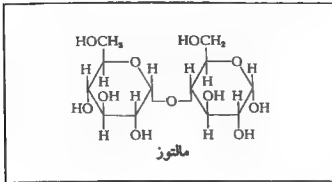


الشكل ٤-٩ . الصيغة التركيبية للجلوكوز واثنتين من نظائره الضوئية .

الجلوكوز يسمى سكر سداسي hexose . سكران سداسيان شائعان هما الجالاكتوز (وهو يوجد في اللبن والزيادي) والفركتوز (وهو سكر موجود في العسل) . وكل من الجالاكتوز والفركتوز له الصيغة الجزيئية  $C_6H_{12}O_6$  وهي نفس صيغة الجلوكوز . ولكن بالنظر إلى الشكل (٤-٩) نرى أن الترتيب الفعلي للذرات مختلف في كل من الحالات الثلاث . يختلف الجالاكتوز عن الجلوكوز من حيث توجيه ذرة الهيدروجين ومجموعة الهيدروكسيل المتصلتان بذرة الكربون رقم ٤ . في الجالاكتوز تمتد مجموعة الهيدروكسيل فوق مستوي الحلقة بينما هي تمتد تحت مستوي الحلقة في الجلوكوز (الشكل ٤-٩) . في الفركتوز تساهم خمس ذرات فقط في تكوين الحلقة . مواد مثل ذلك لها نفس الصيغة الجزيئية ولكن الصيغات التركيبية لها تكون مختلفة تسمى نظائر تركيبية structural isomers .

الجلوكوز والجالاكتوز والفركتوز أمثلة لسكريات «مفردة» أو أحادييات السكر monosaccharides . لتكوين سكر مزدوج أو ثنائي السكر disaccharide السكروز (السكر الذي تضعه في القهوة) يتكون من جزئ جلوكوز وجزئ فركتوز . وعلى الرغم من أن عملية الربط بينهما معقدة تماماً فإن النتيجة النهائية هي فقد ذرة هيدروجين من أحد أحادييات السكر ومجموعة هيدروكسيل من الآخر . وعلى ذلك تكون الصيغة الجزيئية للسكروز هي  $C_{12}H_{22}O_{11}$  (أي  $2C_6H_{12}O_6 - H_2O$ )

سكران ثنائيان آخران هما اللاكتوز (السكر الرئيسي في اللبن) والمالتوز (أحد نواتج هضم النشا) . يتكون اللاكتوز من جزئ جلوكوز مرتبط بجزئ جالاکتوز . أما المالتوز فهو يتكون من جزيئين من الجلوكوز مترابطين معا (الشكل ٤-١٠) .



الشكل ٤-١٠.  
تركيب المالتوز.

جميع السكريات شديدة الذوبان في الماء وذلك بسبب إحتوائها على العديد من مجموعات الهيدروكسيل. القطبية الناشئة عن السالبة الكهربية العالية لذرات الأكسجين تسمح بالتجاذب السهل مع جزيئات الماء.

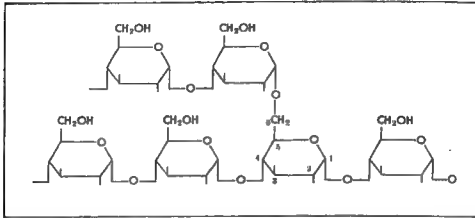
السكريات هي وقود هام للعديد من الكائنات الحية وهي ليست بنفس تركيز الدهون لأنها ليست تامة الاختزال ولكن قابليتها للذوبان في الماء تسمح بانتقالها بسهولة في سوائل الجسم. الجلوكوز في الواقع هو سكر الدم عند البشر وهو أهم مصدر طاقة للعديد من الخلايا.

#### STARCHES

#### النشويات

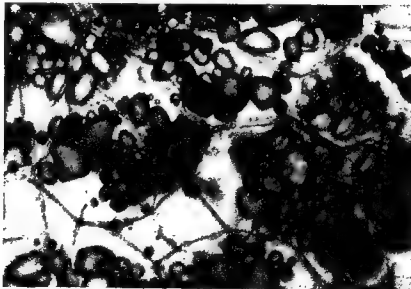
النشويات هي بلمرات من الجلوكوز ومنها نوعان. الأميلوز amylose يتكون من سلاسل خطية غير متفرعة تشتمل على عدة مئات من وحدات الجلوكوز (أو الرواسب كما جرت العادة على تسميتها). وترتبط رواسب الجلوكوز ببعضها بين ذرتي الكربون رقم ١ ورقم ٤ (الشكل ٤-١١). الأميلوبيكتين amylopectin يختلف عن الأميلوز في أنه غزير التفرع. عند كل من الراسب الثلاثين على طول السلسلة توجد سلسلة جانبية قصيرة متصلة بذرة الكربون رقم ٦ (ذرة الكربون التي تعلقو الحلقة). في كل من هذه السلاسل القصيرة يوجد حوالي ٢٤ راسب والمجموع الكلي لرواسب الجلوكوز في جزيء الأميلوبيكتين هو عدة الاف.

النشويات غير قابلة للذوبان في الماء ولذلك فهي تعمل كمستودعات لتخزين الجلوكوز. والنباتات تحول الجلوكوز الزائد إلى نشا. والأرز والقمح والذرة مصادر رئيسية للنشا في غذاء الانسان.

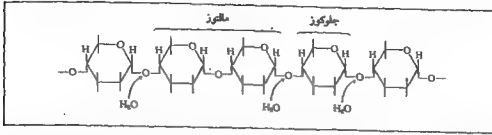


الشكل ٤-١١. تركيب النشا. تترايط وحدات الجلوكوز من خلال ذرات الكربون رقم ١ و رقم ٤ لتكوين سلاسل مستقيمة. تتصل السلاسل الجانبية القصيرة بالسلسلة الرئيسية عند ذرة الكربون رقم ٦.

لا بد من هضم النشويات قبل أن تدخل إلى الخلايا أو تخرج منها وهذا يعني ببساطة أن السلاسل الطويلة لا بد أن تنكسر إلى سكرات وتسمى العملية بالتميؤ hydrolysis وهي تتطلب الماء وإنزيم هاضم للنشا يسمى الاميليز amylase. تدخل جزيئات الماء عند التراط ١-٤ بمعاونة الأميليز وبذلك تنكسر السلسلة (الشكل ٤-١٣). إنزيمات الأميليز التي ينتجها الجهاز الهضمي للإنسان تسمى النشا وتحوله إلى خليط من المالتوز والجلوكوز.



الشكل ٤-١٢. حبيبات النشا في خلايا البطاطس وقد اصطبغت قليلا باليود لاحظ جدر الخلايا.



الشكل ١٣-٤. تميؤ الأميلوز بواسطة إنزيم الأميليز في البنكرياس وينتج خليط من الجلوكوز والمالتوز. لا يستطيع الأميليز كسر الروابط ١ - ٦ عند نقاط التفرع في الأميلوبكتين (الشكل ١١-٤) حيث يقوم بذلك إنزيم آخر.

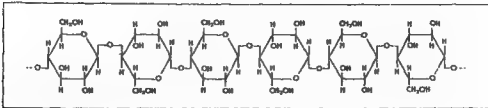
تخزن الحيوانات الجلوكوز الزائد عن طريق بلمرة إلى جلايكوجين glycogen .  
تركيب الجلايكوجين مشابه لتركيب الأميلوبكتين إلا أن الأفرع في الجلايكوجين تميل إلى أن تكون أقصر وأكثر عدداً.

## CELLULOSE

### السيليلوز

السيليلوز هو أكثر المركبات العضوية إنتشاراً في الأحياء . والسبب في سعة إنتشاره هو أنه المادة الأساسية التي تتربك منها النباتات . معظم الخشب من السيليلوز بينما القطن والورق فهما سيليلوز نقي تقريباً.

مثل النشا فان السيليلوز هو عديد التسكر ووحدهه هي الجلوكوز (الشكل ١٤-٤) . ومع ذلك فإن إتجاه الروابط بين ذرة الكربون رقم ١ من إحدى وحدات الجلوكوز وذرة الكربون رقم ٤ من الوحدة التي تليها يختلف عما يوجد في النشا . فبينما في النشا تتجه الروابط التساهمية الممتدة من ذرة الأكسجين الموصلة بين الوحدات إلى نحو مستوى الحلقات نجد في السيليلوز أن الرابطة إلى ذرة الكربون رقم ١ تتجه إلى



الشكل ١٤-٤. تركيب السيليلوز. قارن هذا التركيب بتركيب النشا في الشكل ١١-٤.

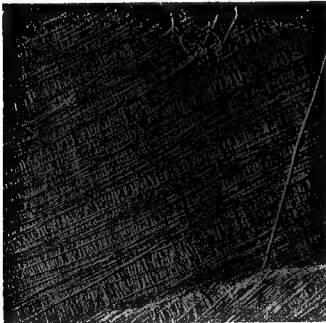
أسفل نحو مستوى الحلقة ( الرابطة إلى ذرة الكربون رقم ٤ كما في النشا ). . بالإضافة إلى ذلك لا توجد سلاسل جانبية في السيليلوز كما في النشا . قد تبدو هذه اختلافات طفيفة ولكنها في الحقيقة تجعل السيليلوز مختلفاً جداً في خواصه عن النشا بسبب اتجاه الروابط فإن حلقات الجلوكوز تكون مرتبة على هيئة زجراج في جزيئات السيليلوز (الشكل ٤-١٤) وهذا ينتج جزيء طويل متصلب . وغياب السلاسل الجانبية يسمح لهذه الجزيئات الحظية أن تترافق بالقرب من بعضها . ويفضل مجموعات OH- العديدة وذرات الأكسجين في الحلقة هناك العديد من الفرص لتكوين روابط هيدروجينية بين السلاسل المتجاورة وتكون النتيجة هي سلسلة من الليفات الطويلة المتصلة - هذه هي المادة المثل لبناء الجدر التدعيمية للخلايا النباتية .

الشكل ٤-١٥ يبين صورة بالمجهر الاليكتروني للليفات السيليلوز من جدار خلية نباتية وهذه الليفات المستقيمة المتصلة تعكس بوضوح طبيعة جزيئات السيليلوز التي تتكون منها .

#### PROTEINS

#### ٤-٤ . البروتينات

حوالي ٥٠٪ من الوزن الجاف للمادة الحية عبارة عن بروتين والبروتين ليس هو مادة التخزين البسيطة أو المادة النباتية مثل عديدات السكر . فأنواع ووظائف البروتينات



الشكل ٤-١٥ . ليفات السيليلوز في جدار خلية أحد الطحالب الخضراء . التكبير ١٧ ألف مرة . (صورة بالمجهر الاليكتروني بتصريح من ر. د. بريستون).

متبانية بقدر تباين وظائف الحياة نفسها. وكل العوامل الحفازة والتي تجعل التفاعلات الكيميائية للمادة الحية ممكنة هي من البروتينات. هذه العوامل الحفازة تسمى الانزيمات enzymes. والبروتينات هي أيضاً المواد المسؤولة عن حركة الكائنات الحية. فالعضلات مثلاً تتكون أساساً من جزيئات بروتينية مرتبة بإتقان وتفاعلها مع بعضها يؤدي إلى ممارسة القوة العضلية. والبروتينات مسؤولة عن إنتقال مواد عديدة خلال الجهاز الدوري. الهيموجلوبين الذي ينقل الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون في الدم مثال مألوف لذلك. تكوين جلطة في الدم يتطلب تفاعل عدد من البروتينات المختلفة. الأجسام المضادة antibodies تلك الجزيئات شديدة التباين والتي يمكنها أن تميز وتوقف عمل أي مواد دخيلة قد تتسلل إلى الجسم هي بروتينات. تعمل البروتينات أيضاً كمستودعات غذائية. مثال ذلك بياض البيض والكازين وهو البروتين الرئيسي في اللبن. وعلى حين أن السيليلوز هو المادة التركيبية الرئيسية في النباتات فإن البروتين هو المادة التركيبية الرئيسية في الحيوانات. الكولاجين collagen والالاستين elastin يمدان الأنسجة الضامة مثل الجلد والأربطة بالقوة والمرونة أما الكيراتين keratin فهو البروتين الأساسي في الشعر والأظافر.

البروتينات جزيئات كبيرة فحتى أصغرها يبلغ وزنه الجزيئي حوالي ٦٠٠٠ والبعض لها وزن جزيئي أكبر من مليون. وبالإضافة إلى الكربون والهيدروجين والأكسجين فإن البروتينات تحتوي دائماً على ذرات نيتروجين وعادة ذرات كبريت كذلك. البيتا لكتوجلوبيولين Beta-lactoglobulin وهو بروتين موجود في اللبن له الصيغة الجزيئية  $C_{1642}H_{2652}O_{492}N_{420}S_{16}$  ووزنه الجزيئي هو ٣٦٦٨٤. وحينما نواجه بجزيء له مثل هذا الحجم فإنه ليس لدينا أمل في كتابة صيغة تركيبية له.

لحسن الحظ فإن كل البروتينات تتكون من واحد أو أكثر من البلمرات الخطية غير المتفرعة. ووحدات هذه البلمرات تسمى الأحماض الأمينية amino acids. يوجد عشرون حمض أميني في معظم البروتينات وتترابط هذه في سلاسل من ١٠٠ إلى ٣٠٠ حامض أميني.

#### STRUCTURE OF AMINO ACIDS

#### تركيب الأحماض الامينية

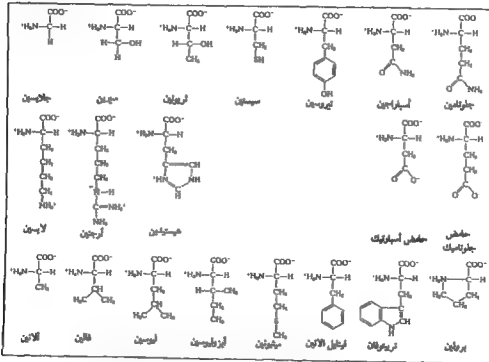
تتبي الأحماض الأمينية العشرين تبعا لخطوة مشتركة. ففي كل منها توجد ذرة كربون

ذرة الكربون ألفا (the "alpha" carbon) وهي تتصل عن طريق روابط تساهمية بكل من :

- ١ - ذرة هيدروجين
- ٢ - مجموعة أمينو ( $-NH_2$ )
- ٣ - مجموعة كربوكسيل ( $-COOH$ )
- ٤ - «شيء آخر» - هذا هو المجموعة "R"

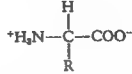
ويتحدد الحامض الأميني ( من بين العشرين ) تبعا لطبيعة المجموعة R (الشكل ٤-١٦).

الوجود الدائم لمجموعة أمينو ومجموعة كربوكسيل (حامضية) يفسر الاسم أحماض أمينية. بسبب زوج الايكترونات غير المتقسمة فإن مجموعة الأمينو تكون



الشكل ٤-١٦. تركيب الاحماض الأمينية العشرين التي يتم تخليق البروتينات منها. الصف العلوي : أحماض أمينية فيها مجموعة R قطبية. مجموعات R يمكنها تكوين روابط هيدروجينية مع جزيئات الماء ولذلك فهذه الأحماض محبة للماء. الصف الأوسط : أحماض أمينية قاعدية (في اليسار) وحامضية (في اليمين). هذه الأحماض محبة للماء بشدة. الصف السفلي : أحماض أمينية بها مجموعة R غير قطبية وهذه كلها كارهة للماء.

قاعدية وهي تجذب البروتونات. وكما رأينا من قبل فإن مجموعة الكربوكسيل تعطى بروتونات وهي لذلك حامضية وفي الواقع حينما تكون الأحماض الأمينية في محلول فإن المجموعتين تتفاعلان معا. فتعطى مجموعة الكربوكسيل بروتونها إلى مجموعة الأمينو ويتكون أيون مزدوج الشحنة

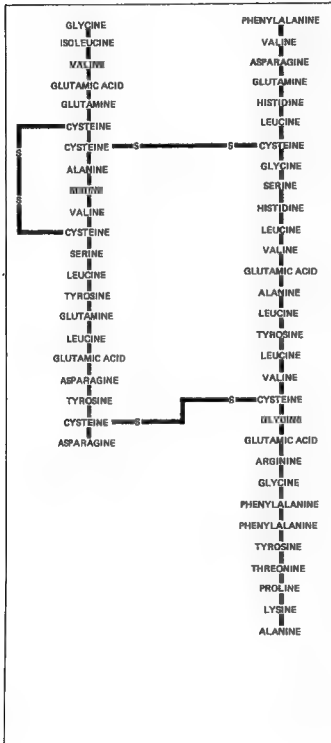


الشكل ٤-١٦ يوضح تركيب الأحماض الأمينية العشرين. في أبسط حامض أميني وهو الجلايسين glycine تكون المجموعة R هيدروجين. في الألائين تكون مجموعة ميثيل (CH<sub>3</sub>) أما في الفالين valine والليوسين leucine والأيزوليوسين isoleucine فإن المجموعة R هيدروكربونية. هذه الأحماض الأمينية كلها كارهة للماء. وعلى العكس فإن السيرين serine والثريونين threonine بهما مجموعات هيدروكسيل كجزء من المجموعة R مما يجعلها محبة للماء.

بعض الأحماض الأمينية لها مجموعات R مشحونة. فكل من الليسين lysine والأرجينين arginine والهستيدين histidine به مجموعة أمينو كجزء من المجموعة R. في الظروف العادية داخل الخلية فإن زوج الالكترونات غير المقتسم على ذرة النيتروجين في هذه المجموعات الأمينية يمسك بروتون، لذا فإن المجموعات الأمينية تحمل شحنة موجبة وهذه الشحنة تجعل الحامض الأميني محب للماء - أي قابل للتفاعل بسهولة مع الجزيئات القطبية للماء. في كل من حامض الأسبارتيك aspartic acid وحامض الجلوتاميك glutamic acid توجد مجموعة كربوكسيل في المجموعة R. ومجموعات الكربوكسيل أيضا عادة تكون مشحونة (أي انها تخلت عن بروتون) ولذلك تكون الجزيئات محبة للماء جداً.

السيستائين cysteine وهو أجد الحامضين اللذين يحتويان على الكبريت يستحق ملاحظة خاصة. فحينما يتقارب جزيئان منه فإنهما يتأكسدان (يفقد ذرتي هيدروجين) ويترابطان تساهميا عبر الجسر "S-S" وهذه الطريقة يمكن الترابط تساهميا بين سلسلتين من الأحماض الأمينية (تسمى عديدة الببتيد) كما في الشكل ٤-١٧ أو يمكن رسم السلسلة على هيئة حلقة.



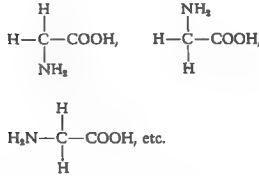


الشكل ٤-١٧. تتابع الأحماض الأمينية في جزيء الأنسولين. يتكون الجزيء من سلسلتين عديدتي الببتيد مرتبطتان مما بواسطة جسرين من ثنائي الكبريتيد.

## OPTICAL ISOMERS

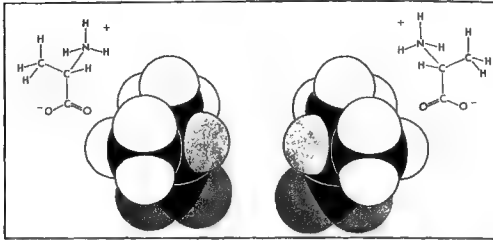
## النظائر الضوئية

تذكر أن الروابط التساهمية الأربع لذرة الكربون تتجه نحو قمم شكل هرمي رباعي منتظم وبذلك تكون موزعة في ٣ أبعاد في الفراغ بزاوية حوالي ١٠٩,٥ بينها. والآن دعنا نعيد النظر في تركيب الجللايسين على ضوء هذه الحقيقة. وبالطبع يمكننا كتابة صيغ تركيبية ذات بعدين للجللايسين بعدة طرق منها مثلاً ما يأتي:



ولكن هذه الاختلافات ليست واقعية في ثلاثة أبعاد. وإذا بنينا نماذج ثلاثية الأبعاد للجللايسين فإننا نجد أنه مهما كان عددها ومهما كانت طريقة إمساكنا بها فإنها جميعاً تكون متطابقة لذا ليس هناك إلا طريقة واحدة لبناء جزيء جللايسين. ولكن ليس هذا هو الحال مع الألائين فعندما نبدأ في بناء نماذج ثلاثية الأبعاد للألائين نجد أنه يمكننا تخليق شكلين متميزين (الشكل ٤-١٨). إذا واجهنا الجزيء بحيث تشير مجموعة الكربوكسيل نحونا ومجموعة الأمين بعيداً عنا فإن مجموعة R يمكن وضعها إما بحيث تبرز لأعلى وإلى اليسار وذرة الهيدروجين لأعلى وإلى اليمين أو بالعكس تماماً.

وعلى خلاف الموقف مع الجللايسين هذان الشكلان لا يمكن أن يتطابقا بل إنهما صورتان في المرآة لبعضهما البعض أو هما يشبهان زوجاً من القفازات. مثل هذه الجزيئات تسمى بالنظائر الضوئية حيث يشير هذا الاسم إلى الخاصية التي تجمع بينهم جميعاً من حيث الكثافة مستوى إستقطاب الضوء الذي يمر خلالها. فإذا كان أحد الشكلين يلف الضوء في اتجاه عقارب الساعة فان نظيره الضوئي يلفه في اتجاه ضد عقارب الساعة.



الشكل ٤-١٨ . النظيران الضوئيان للمعافض الأمين D, L . النظائر الضوئية من النوع L فقط هي التي توجد في البروتينات.

كلما كانت ذرة الكربون مترابطة مع أربعة أشياء مختلفة فإنه يمكنها تكوين زوج من النظائر الضوئية وقد إصطلح على تسمية أحدهما بالشكل L- والآخر بالشكل D- . ولك أن تسأل إذا ما كان استعمال أحدهما هاماً للحياة . والاجابة بكل تأكيد نعم . فجميع الأحماض الأمينية الموجودة في البروتينات في جميع المخلوقات على هذا الكوكب من الشكل L- . وسوف تموت جوعاً إذا حاولت تلبية إحتياجاتها من الأحماض الأمينية من الشكل D- . وبعبارة أخرى فإن التوزيع الفعلي للنترات في ثلاثة أبعاد له أهمية قصوى في العديد من العمليات الحيوية .

التناظر الضوئي ليس مقصوراً فقط على الأحماض الأمينية فاذا عدت مرة أخرى إلى الصيغ التركيبية للسكرات (الشكل ٤-٩) ستجد ذرات كربون عديدة لها أربعة مجموعات إحلال مختلفة . وبذلك فإن كل واحدة من ذرات الكربون هذه يمكنها ترتيب مجموعات الإحلال حولها في أحد شكلين متناظرين وهنا أيضاً فإن للكائنات الحية أفضليات محددة لأحد النظائر دون الآخرين .

#### STRUCTURE OF POLYPEPTIDES

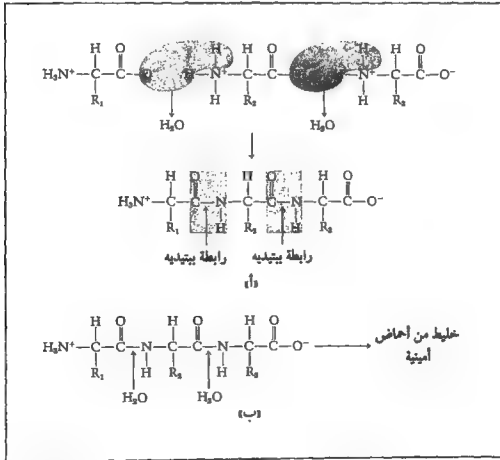
#### تركيب عديدات الببتيد

تتحد الأحماض الأمينية مع بعضها لتكوين عديدات الببتيد كما هو موضح بالشكل ٤-١٩ . وعلى الرغم من أن عملية البلمرة الفعلية أعقد مما يتضح من هذا الشكل إلا

أن النتيجة هي إستبعاد جزيء ماء من بين كل زوج من الأحماض الأمينية . والرابطة بين الأحماض الأمينية (أو بالأصح رواسب الأحماض الأمينية) تسمى الرابطة الببتيدية .peptide bond



عند إحدى نهايات عديد الببتيد توجد مجموعة أمينو مكشوفة وتسمى هذه النهاية بنهاية الأمينو أو النهاية N- لعديد الببتيد . أما النهاية الأخرى بها فيها من مجموعة كربوكسيل مكشوفة فتسمى نهاية الكربوكسيل أو النهاية C-



الشكل ٤-١٩ . (أ) ترتيب ثلاثي الببتيد . (ب) نمو ثلاثي الببتيد . الخطوات الفعلية التي يتم بها تخليق ثلاثيات الببتيد في الخلايا أكثر تعقيداً من مجرد نزع جزيء ماء كما هو موضح هنا .

وعديدات الببتيد أيضا يمكن تفكيكها وذلك يحدث بواسطة التميؤ. بمعاونة أحد الانزيمات البروتوليتية proteolytic enzymes (البروتين) يمكن إضافة جزيء ماء إلى الرابطة الببتيدية وكسر السلسلة عند هذه النقطة. في الانسان يتطلب هضم (تميؤ) البروتين نشاط عدة أنواع من الانزيمات البروتوليتية كل منها قادر على كسر الروابط الببتيدية بين أزواج معينة من الأحماض الأمينية وليس سواها.

### التركيب الابتدائي

#### PRIMARY STRUCTURE

واحد من أهم إنجازات الكيمياء الحديثة هو تطوير وسائل لتحديد التتابع الذي توجد به الأحماض الأمينية في عديدات الببتيد بدقة. وحينما يتم ذلك فقط فانه يمكن كتابة الصيغة التركيبية للبروتين. وأول بروتين أمكن تحديد تتابع الأحماض الأمينية فيه كان الانسولين (الشكل ٤-١٧). هذا الهرمون الهام صغير بالمقارنة بغيره من البروتينات وصيغته الجزيئية هي  $C_{254}H_{377}N_{65}O_{76}S_6$ . ومع ذلك فقد استغرق تحديد التسابع الدقيق للأحماض الأمينية والجسور (S-S) بين جزيئات السيستاتين في هذا البروتين عشرة أعوام (١٩٤٤ - ١٩٥٤) من الدكتور فريدريك سانجر وزملائه في جامعة كامبردج بأنجلترا. هذا البروتين يتكون من سلسلتين من عديدات الببتيد متساكنتين معاً بواسطة جسور ثنائي الكبريتيد ويبلغ مجموع الأحماض الأمينية ٥١ (الشكل ٤-١٧).

وقد تطورت بسرعة وسائل تحديد التتابع في البروتينات منذ أيام العمل الرائد لسانجر وفي الواقع فانه يمكن الآن أداء معظم العمل آلياً بواسطة الأجهزة. نتيجة لذلك فان تتابع الأحماض الأمينية صار معروفا الآن لعدد كبير من البروتينات. ويعرف تتابع الأحماض الأمينية في البروتين وكذلك أماكن أي جسور من ثنائي الكبريتيد بالتركيب الابتدائي للبروتين.

من البروتينات التي تلت ذلك في معرفة التركيب الابتدائي الليسوزيم. والليسوزيم عبارة عن إنزيم موجود في بياض البيض والدموع وإفرازات أخرى وهو مسئول عن تحليل عديدات السكر في جدر العديد من البكتريا وبذلك يقدم قدراً من الحماية ضد العدوي.

التركيب الابتدائي لليسوزيم الموجود في بياض البيض هو سلسلة عديدة الببتيد مفردة تحتوي على ١٢٩ حامض أميني وبه أربع أزواج من السيستاتين تنشئ جسور تساهمية بين المواقع ٦ مع ١٢٧ و ٣٠ مع ١١٥ و ٦٤ مع ٨٠ و ٧٦ مع ٩٤ (الشكل ٤-٢٠). وجود هذه الجسور يدلنا فوراً على أنه لا يمكن تمثيل عديد الببتيد هذا بسلسلة مستقيمة متصلة (كما في حالة السييلولوز مثلاً) فلا بد للسلسلة أن تنطوي على نفسها لكي تسمح لجزئيات السيستاتين بالتقارب بعضها.

## SECONDARY STRUCTURE

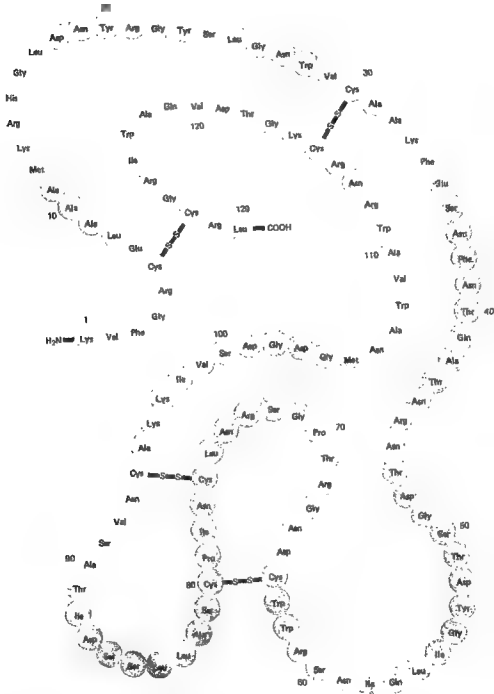
## التركيب الثانوي

لكي نعرف المزيد عن الشكل الحقيقي للجزء في الفراغ ثلاثي الأبعاد لابد لنا من التحول إلى طريقة تحليلية أخرى وهي التشتت البللوري للأشعة السينية. تتكون البللورة من تجمع منظم من الأيونات (الشكل ٣-١٤ في الباب السابق) أو الجزئيات. فإذا مرت حزمة من الأشعة السينية سوف تنعكس بفعل الذرات في البللورة. وبفضل الترتيب المنظم للذرات فإن الانعكاس سوف يكون منظماً أيضاً. وبدراسة نمط الانعكاسات الناجمة عن سقوط الحزمة على البللورة من زوايا مختلفة فإنه من الممكن (خاصة مع استعمال حاسب آلي) تكوين صورة عن ترتيب الذرات في تلك البللورة.

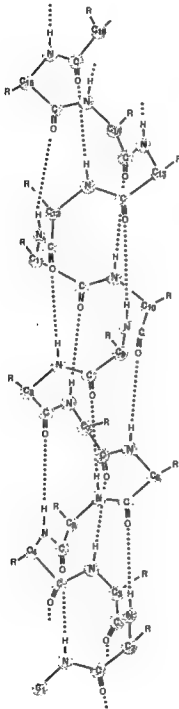
من أوائل البروتينات التي تم تحليلها بهذه الطريقة بعض البروتينات التركيبية مثل الفاكيراتينات  $\alpha$ -keratins الموجودة في الصوف والقروين fibroin وهو البروتين الذي تفرزه دودة الحرير. وكان اختيار هذه البروتينات موقفاً بسبب تركيبها البالغ الانتظام والذي يكرر نفسه.

أسفر تحليل الالفاكيراتينات بالأشعة السينية عن عدة حقائق مثيرة. فقد تبين أن الروابط الببتيدية نفسها متصلة جداً وأن جميع ذراتها تقع في مستوى واحد والفرصة الوحيدة لاكتساب بعض المرونة في عديد الببتيد توجد عند روابط ذرة الكربون الفا. أي ذرة الكربون التي تحمل المجموعة R. في الالفاكيراتينات تستغل هذه المرونة لتكوين إلتفاف حلزوني في سلسلة عديد الببتيد (الشكل ٤-٢١) ولابد من ذكر عدة ملامح هامة لهذا الحلزون:

- (١) جميع المجموعات R الخاصة بالأحماض الأمينية تمتد نحو الخارج. (٢) يلتف الحلزون لفّة كاملة كل ٣,٦ رواسب. (٣) إتجاه الالتفاف في الحلزون يميني أي أنه



الشكل ٢٠-٤. التركيب الابتدائي للميسوزيم. يتكون الجزء من سلسلة مفردة عديدة الببتيد بها ١٢٩ راسب من الأحماض الأمينية. يوجد كذلك ٤ جسور من ثنائي الكبريتيد بين أجزاء السلسلة.



الشكل ٤-٢١. الحلزون ألفا - شكل شائع للتركيب الثانوي. هذا الحلزون اليميني يكمل دورة كاملة كل ٣,٦ راسب. لاحظ الرابطة الهيدروجينية التي تنشأ بين مجموعة  $C=O$  في كل رابطة ببتيدية ومجموعة  $N-H$  الرابطة التي توجد أسفلها على الحلزون.

عندما يستقر فإنه يلتف في إنجاسة عقارب الساعة. (٤) المجموعة  $C=O$  في كل رابطة ببتيدية تمتد موازية لمحور الحلزون وتشير مباشرة إلى مجموعة  $NH$  الخاصة بمجموعة الببتيد التي تقع على بعد أربعة أحماض أمينية أسفلها على الحلزون. وكلا من ذرات الأكسجين والنيتروجين عالية السالبة الكهربائية وعلى ذلك تنشأ روابط هيدروجينية بين هذه المجموعات :  $C=O \cdots H-N$  وهذا الترتيب الدقيق الثلاثي الأبعاد للأحماض في الفاكيراتين عديد الببتيد يسمى الحلزون ألفا  $\alpha$  helix (الشكل ٤-٢١) . وهو مثال للتركيب الثانوي secondary structure لبروتين.

والذي يجعل الحلزون ألفا ممكنا هو كثرة عدد الروابط الهيدروجينية . ولكل رابطة هيدروجينية طاقة رابطة تقدر بخمسة كيلو

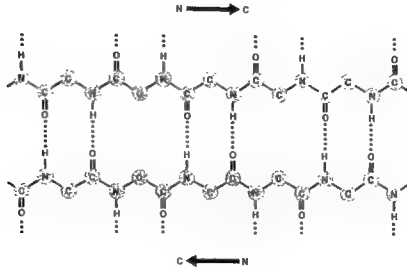
سعر وهو كسر بسيط من طاقة رابطة تساهمية (حوالي ١٠٠ كيلوسعر) ولكن وجود رابطة هيدروجينية بين كل حامض أميني والحامض الأميني الذي يبعد عنه بأربعة أحماض أمينية يقدم من طاقة الروابط الاجالية مايكفي لجعل الحلزون ألفا تركيب مستقر جداً .



ومع ذلك فإنه يمكن من خلال كسر الروابط الهيدروجينية الموجودة بين السلاسل أن يتمدد الحلزون وفي الواقع فإن ألياف الصوف يمكن أن تتمدد حتى يتضاعف طولها مرتين بفضل الخواص الجزئية للحلزون ألفا.

القبريون هو البروتين الذي تستعمله دودة الحرير في نسج خيوط الشرنقة وقد تم تحليله بالأشعة السينية. في القبريون تكون سلاسل عديدة الببتيد متعددة (الشكل ٤-٢٢). يترتب عدد من السلاسل في صفوف متوازية وتتناسك بواسطة روابط هيدروجينية تنشأ بين مجموعات  $-NH_2$ ،  $-C=O$  من إحدى السلاسل مع مجموعات  $-NH_2$ ،  $-C=O$  من السلسلة المجاورة (الشكل ٤-٢٢). في الحرير يفضل أن توصف السلاسل بأنها متعاكسة الاتجاه antiparallel لأن السلاسل المتجاورة تجري في اتجاهات متضادة أي من النهاية N إلى النهاية C وبالعكس. حينها تترافق طائفة من هذه السلاسل متضادة الاتجاه إلى جوار بعضها فأنها تكون مايعرف باللوحة ذات الطبقات بيتا beta-pleated sheet وهي مثال هام وشائع للتركيب الثانوي للبروتينات.

ولأن السلاسل ممددة عن آخرها فإنه لا يمكن تمديدهم أكثر من ذلك بدون كسر بعض الروابط التساهمية ولهذا السبب كان الحرير غير قابل للتمدد. ومع ذلك فإن طبقات اللوحة ذات الطبقات بيتا التي تتكون منها ألياف الحرير يجعله مرناً جداً. الحلزون ألفا واللوحة ذات الطبقات بيتا من أكثر أمثلة التركيب الثانوي إنتشاراً ولكن هناك أمثلة أخرى للترتيب المنظم للأحماض الأمينية في عديدات الببتيد. وحينما لا يمكن ملاحظة نمط محدد في أحد أجزاء سلسلة عديد الببتيد يقال أن التركيب الثانوي لها به ملف عشوائي. وفي الحقيقة فإنه من المشكوك فيه جداً أن يوصف الترتيب ثلاثي الأبعاد لأي عديد ببتيد بأنه عشوائي فكل هذه الأمثلة هي انعكاس مباشر لأحماض أمينية معينة وترتيبها المستعمل في تخليق عديد الببتيد. سلاسل القبريون مثلاً تتكون أساساً من رواسب جلايسين (عجب للماء) متبادلة مع رواسب ألانين (كارهة للماء) وهذا يسمح للسلاسل بالاستقرار على مقربة من بعضها في ترتيب اللوحة ذات الطبقات بيتا. وعلى الجانب الآخر فإن سلسلة تحتوي على رواسب الألانين سوف تتخذ شكل الحلزون ألفا تلقائياً بحيث تكون مجموعات  $CH_3$  من جزيئات الألانين بارزة للخارج من الحلزون.



الشكل ٤-٢٢. اللوحة ذات الطبقة بيتا - مثال شائع آخر للتركيب الثانوي. تترابط السلاسل المتوازية مع بعضها بواسطة الروابط الهيدروجينية التي تنشأ بينها.

#### TERTIARY AND QUATERNARY STRUCTURE

#### التركيب الثلاثي والرباعي

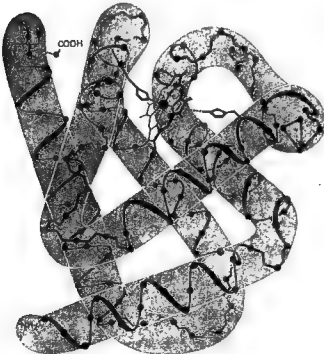
الألفا كيراتينات والفبرين أمثلة للبروتينات الليفية. والألياف البروتينية هامة لما تكسبه من خواص ميكانيكية لتلك التراكيب مثل الجلد والقرون والشعر وما إلى ذلك كما تلعب دوراً هاماً في آلية إنقباض العضلات. وفي كل هذه الحالات تكون البروتينات غير قابلة للذوبان في الماء. ولكن العديد من البروتينات (مثل الإنزيمات وبروتينات النقل) لا يمكن أن تؤدي وظائفها إلا إذا كانت ذائبة في الماء. مثل هذه البروتينات تميل إلى أن تكون كروية أي أن سلسلة عديد الببتيد تكون ملففة على نفسها كثيراً لتكون جزءاً مضغوطاً وهذا يجعل التحليل بالأشعة السينية صعباً ولكنه يكون ممكناً إذا أمكن بلورة البروتين وهو ما يحدث مع الكثير منهم لحسن الحظ. من أوائل البروتينات الكروية التي أمكن تحديد تركيبها ثلاثي الأبعاد هو الميوجلوبين myoglobin.

الميوجلوبين هو عبارة عن بروتين أحمر يوجد في العضلات ويتحد مع الأكسجين وهو المسئول عن لون اللحم النىء. الميوجلوبين الموجود في عضلات الحوت يتكون من سلسلة مفردة بها ١٥٣ حامض أميني مرتبة في ثمان مناطق من الحلزون الفا. عند نهاية

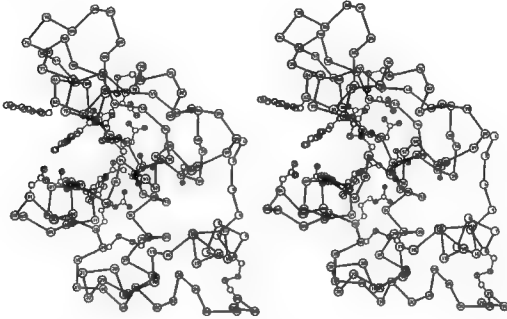
كل قطعة من الحلزون فإن السلسلة تأخذ انحناءً حاداً ثم تبدأ قطعة أخرى من الحلزون (الشكل ٤-٢٣) والنتيجة النهائية هي تركيب كروي. والهيئة الأجمالية للبروتين الكروي تسمى التركيب الثلاثي tertiary structure.

يختلف الميوجلوبين من ناحية أخرى عن البروتينات الأخرى التي ناقشناها حتى الآن، فالأنسولين والليوسوزيم والفيروين كلها بروتينات بسيطة من حيث أنها تتكون من سلاسل عديدة الببتيد فقط. وعلى خلاف ذلك فإن الميوجلوبين بروتين مصاحب -conjugated protein يتصل بسلسلة عديد الببتيد أربع حلقات مترابطة في حلقة عامة يوجد في مركزها ذرة حديد (Fe). هذا التركيب (الشكل ٤-٢٣) يسمى مجموعة الهيم heme group وهو المكان من الجزيء الذي يتحد معه الأكسجين. مجموعة الهيم هي مثال للمجموعة الفعالة prosthetic group التي هي سمة من سمات جميع البروتينات المصاحبة.

تتابع الأحماض الأمينية في جزيء الميوجلوبين يكون بحيث تقع الأحماض ذات المجموعات R المحبة للماء في مواضع بارزة خارج الجزيء ولذلك يمكن للميوجلوبين أن يوجد محاطاً بالماء. ومن ناحية أخرى تكون المجموعات R الكارهة للماء متجهة نحو داخل الجزيء وبذلك يستبعد الماء من داخل الجزيء.



الشكل ٤-٢٣. رسم تخطيطي للتركيب الثلاثي للميوجلوبين. يتكون الجزيء من ثمان قطع من الحلزون ملتوية لتكوين تركيب كروي. يمكن لجزيء أكسجين أن يترابط مع المجموعة الفعالة أي مجموعة الهيم (نظام الحلقات عند قمة الهيم). يتصريح من ر. أ. ديكرسون



الشكل ٤-٢٤. منظر مجسم لجزء الليسوزيم. أسهل طريقة لدمج الصور المجسمة هي استعمال منظار مجسم ولكن بقليل من الممارسة فإن أغلب الناس يمكنهم أداء الدمج كالآتي: ضع لوحة من الورق المقوي قائمة بين المنظرين بحيث ترى العين اليسرى الصورة اليسرى فقط وترى العين اليمنى الصورة اليمنى فقط ويساعد في ذلك توزيع الاضاءة بالتساوي بين الصورتين وأن تكون عينك على بعد ١٨ بوصة تقريباً. وبالمزيد من الممارسة فقد تجد أنك تستطيع دمج الصور بدون أي وسائل مساعدة. (بتصريح من إيرفنج جايس).

التركيب الرباعي لليسوزيم أمكن أيضاً التوصل اليه. ويوضح الشكل (٤-٢٤) العمود الفقري للسلسلة المكونة من ١٢٩ حامض أميني. في الواقع يبين الشكل منظرين مختلفين قليلاً. فإذا فحصتهما من خلال منظار مجسم يمكنك دمج الصورتين معا في منظر ثلاثي الأبعاد للجزء. وعلى أي حال إبحث عن النهايات C والنهايات N للجزء وكذلك عن جسور ثنائي الكبريتيد الأربعة. بمعاونة المنظار المجسم يمكنك أن تحدد أماكن ثلاثة حلزونات ألفا قصيرة. هلة تقع عند الرواسب ١٥٠-١٥٤، ٢٤-٣٤، ٨٨-٩٦. وفي الليسوزيم توجد منطقة واحدة من ذات الطبقات بيتا حيث تكون الرواسب ٤١-٤٥ في اتجاه بينها الرواسب ٥٤-٥٠ في الاتجاه الآخر (الشكل ٤-٢٤).

هناك سمتان أخريان تجدر ملاحظتهما في الليسوزيم. فإذا كان لديك الصبر للتحقق من شخصية الرواسب المرقمة في المنظر المجسم فإنك ستجد (كما في الميولوجيين) أن

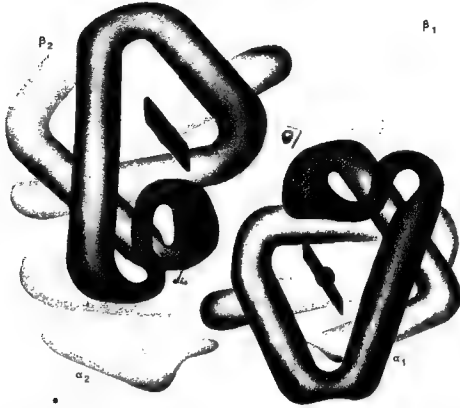
الرواسب الواقعة عند سطح الجزيء تميل إلى أن تكون محبة للماء، بينما تكون الرواسب الواقعة بالداخل غالبا كارهة للماء. وكما سنرى في الباب ٦ فإنه في هذا المكان يتم مؤقتا تقييد عديد التسكر الذي يؤثر عليه الليسوزيم حتى يكتمل النشاط الانزيمي.

المناظر المجسمة في الشكل (٤-٢٤) تبين فقط مسار العمود الفقري لسلسلة عديد الببتيد. ويمكننا مشاهدة التنظيم العام للجزيء فقط عندما نتخلص من معظم المجموعات R وكذلك ذرات الروابط الببتيدية. ولكن في الواقع فإن الجزيء ليس له هذا التركيب الفارغ الذي يشبه القفص الموضح في الشكل ٤-٢٤. وعند إضافة كل الذرات يصبح داخل الجزيء ممتلئا عن آخره. والشكل ٤-٢٥ يبين نموذج ممتلئ الفراغ لليسوزيم. والتراص المتراحم للذرات هو أحد السمات العامة للبروتينات الكروية globular proteins.

الهيموجلوبين هو بروتين كروي مقيد للأكسجين ويوجد في الدم ولونه الأحمر هو سبب لون الدم كما أنه هو المسئول عن نقل الأكسجين من الرئتين (أو الخياشيم) إلى كل أنسجة الجسم. كل جزيء هيموجلوبين يتكون من ٤ سلاسل عديدة الببتيد (الشكل ٤-٢٦). إثنان من هذه السلاسل هما السلسلتان ألفا متماثلتان تماما وبكل منهما ١٤١ حامض أميني. السلسلتان الباقيتان هما سلسلتان بيتا متماثلتان أيضا وبكل



الشكل ٤-٢٥. نموذج ممتلئ الفراغ لليسوزيم. الشق الموجود عند الركن العلوي الأيسر هو مكان ارتباط المادة التي يؤثر فيها هذا الانزيم (النموذج من د. جون أ. ويللي - بتصریح من إيرفنج جايس).



الشكل ٤-٢٦. تركيب الهيموجلوبين. يتكون الجزء من ٤ سلاسل : سلسلتان ألفا وسلسلتان بيتا. كل سلسلة تحمل مجموعة هيم يتحد معها جزء أكسجين. تجمع بروتين من عدة وحدات منفصلة هو مثال للتركيب الرباعي. (بتصريح من إيرفينج جايس).

منها ١٤٦ حامض أميني. تحيط كل سلسلة ألفا وكل سلسلة بيتا بمجموعة هيم كارهة للماء والجزء ككل يشبه ٤ جزئيات من الميوجلوبين مع بعضهم وكما في حالة الميوجلوبين فإن مجموعات الهيم هي الأماكن التي يتم فيها تقييد جزئيات الأكسجين وعلى ذلك فإن كل جزء هيموجلوبين يستطيع أن يقيّد ٤ جزئيات أكسجين.

السلاسل الأربعة عديدة الببتيد في الهيموجلوبين لانتهاك مع بعضها بواسطة جسور S-S أو أي نوع من الروابط التساهمية. وبدلاً من ذلك فإن القوى الضعيفة العديدة بما في ذلك الروابط الهيدروجينية تحفظ السلاسل الأربعة معاً. وجود وحدات متميزة في جزء بروتين كما في حالة السلاسل الأربعة للهيموجلوبين يرفعه إلى مستوى أعلى من التنظيم يعرف بالتركيب الرباعي quaternary structure.

## تركيب ووظيفة البروتين : بعض العلاقات

## PROTEIN STRUCTURE AND FUNCTION : SOME RELATIONSHIPS

الوظيفة التي يؤديها البروتين (إلا عندما يكون غذاء) تعتمد بصورة مطلقة على التركيب ثلاثي الأبعاد لهذا البروتين. ومن الممكن أن يتعرض البروتين لمادة أو أكثر تخلق بتركيبه الثانوي والثلاثي والرابعي. فالتركيز العالي من الأيونات مثلاً سوف يكسر الروابط الهيدروجينية والعوامل المختزلة سوف تكسر جسور S-S بين جزيئات السستائين. وعلى الرغم من أن كل هذه العوامل لا تكسر أي من الروابط الببتيدية وبذلك لا تؤثر على التركيب الابتدائي للبروتين إلا أن هذه المعالجات تحطم الخواص الوظيفية للبروتين ويصبح البروتين فاقداً لطبيعته. إذا فقد الليسوزيم طبيعته ببطء على سبيل المثال فإنه سيفقد قدرته على مهاجمة عديد التسكر الذي يعمل عليه في الأحوال العادية. وأي إنزيم يفقد طبيعته يتوقف عن أداء وظيفته. وعندما تفقد الأجسام المضادة طبيعتها تصبح غير قادرة على التمييز والتعامل مع الأجسام الغريبة (antigens)

ولكن إذا كانت الوظيفة تعتمد على التركيب فعلام يعتمد تركيب (التنظيم ثلاثي الأبعاد) البروتين؟ والأجابة بالتأكيد هي : التركيب الابتدائي أي التابع الدقيق للأحماض الأمينية في البروتين. كيف عرفنا ذلك؟ إذا أعدنا الليسوزيم الذي فقد طبيعته إلى الأس الهيدروجيني المعتاد وتركيز الأملاح وما إلى ذلك فإنه سوف يستعيد تركيبه الثانوي والثلاثي المميز، سوف يظهر ذلك على هيئة إستعادة خصائصه الحفازة.

إذا كان التركيب الثانوي والثلاثي للبروتين يعتمد فقط على التابع الدقيق للأحماض الأمينية فهل يظل التحليل بالأشعة السينية ضرورياً؟ إذا كان تابع معين للأحماض الأمينية (على سبيل المثال ألانين - جلايسين - ألانين) يتخذ دائماً نفس التوجه في الفراغ ألا يمكننا التنبؤ بالشكل العام للبروتين من مجرد معرفة التابع الأحماض الأمينية فيه؟ التوجه الذي يتخذه الحامض الأميني يتأثر بالراسب الذي يسبقه والراسب الذي يليه. ومن الناحية النظرية فإنه لا بد أن نستطيع تحديد الزاوية التي يتخذها أي من الأحماض الأمينية العشرين عندما يسبقه ويليه أي من هذه الأحماض العشرين وهذا يتطلب أن ندرس ٨٠٠٠ توليفة محتملة لذلك. وفي الواقع فإن لدينا الآن معلومات عن نحو ألف من هذه التوليفات المحتملة وهناك محاولات لاستعمال هذه المعلومات (أحياناً

بمساعدة الحاسب الآلى) لتحديد التركيب الثانوي والتركيب الثلاثي . وحينما يكون ذلك معروفاً من التحليل بالأشعة السينية فقد أدت الطريقتان إلى نتائج متشابهة بصورة مذهلة .

إذا كان عمل البروتين يعتمد على شكله وإذا كان شكله يعتمد على تركيبه الابتدائي فما الذي يحدد تتابع الأحماض الأمينية في سلسلة؟ الإجابة على هذا السؤال تمثل واحداً من أعظم الإنجازات العلمية في القرن العشرين . الإجابة هي : الترتيب الدقيق للأحماض الأمينية في بروتين يتقرر بواسطة الشفرة الوراثية genetic code . في البابين ١٢ و ١٣ سندرس طبيعة هذه الشفرة الوراثية وكيف تحكم تركيب البروتينات . أما الآن فيكفي أن نقول أن الشفرة الوراثية موجودة ويتم التعبير عنها بواسطة مجموعة أخرى من الجزيئات الكبيرة موجودة في جميع الخلايا ألا وهي الأحماض النووية .

#### NUCLEIC ACIDS

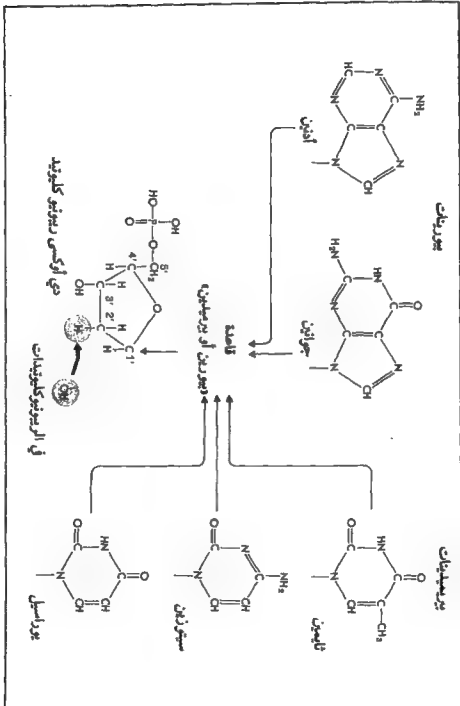
#### ٤-٥ . الأحماض النووية

يوجد في الكائنات الحية نوعان من الأحماض النووية وهما : حامض دى أكسي ريبونوكليك أو DNA وحامض ريبونوكليك أو RNA وكلا منهما عبارة عن بولر خطى غير متفرع . الأوزان الجزيئية تتراوح ما بين ٢٥٠٠٠ وخمسين بليون . ومثل كل البلمرات فإنه يمكن تكسير الأحماض النووية إلى وحداتها وهذه الوحدات تسمى نيوكليوتيدات nucleotides وهي تتكون من ثلاثة أجزاء :

١ - سكر به خمس ذرات كربون (أي سكر خماسي pentose) ومنه نوعان :  
الرايبوز ribose الذي توجد به مجموعة هيدروكسيل على ذرة الكربون رقم ٢ (ويرمز لها بالرقم ٢) والذي أكسي ريبوز deoxyribose والذي توجد به ذرة هيدروجين في نفس المكان (الشكل ٤-٢٧) . النيوكليوتيدات المحتوية على الريبوز (ريبونوكليوتيدات) هي وحدات RNA أما الذي أكسي ريبونوكليوتيدات فهي وحدات DNA .

٢ - تركيب حلقي يحتوي على النتروجين ويسمى القاعدة base (وهي قواعد بسبب زوج الإلكترونات غير المتقسم على ذرات النتروجين التي يمكنها اكتساب بروتونات) . تتصل القاعدة بذرة كربون رقم ١ في السكر الخماسي ، إثنين من هذه القواعد هما الأدينين adenine والجوانين guanine لهما تركيب مزدوج الحلقة





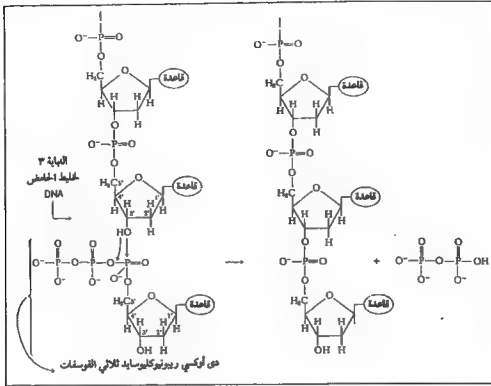
وتسمى البيورينات . الاثنان الباقيتان وهما الثايمين thymine والسيتوزين cytosine لهما تركيب أحادي الحلقة وتسمى البيريميدينات pyrimidines وللسهولة سوف نرمز لهذه القواعد بالحروف C. T. G. A. على التوالي . القواعد في RNA أسماها هي الأدينين (A) والسيتوزين (C) والجوانين (G) والبيريميدين يوراسيل uracil (U) ولا يوجد ثايمين في RNA . واتحاد القاعدة مع السكر يسمى نيوكليوسايد nucleoside .

٣ - مجموعة أو مجموعتان أو ثلاث مجموعات من الفوسفات وهي تتصل بذرة الكربون رقم ٥ من السكر الخماسي .

كلا من الحامضين DNA و RNA يتكون من ثلاثي فوسفات النيوكليوسيد . بالنسبة للحامض RNA هذه هي ATP (Adenosine TriPhosphate) و CTP و GTP و UTP . المكافئات دي أوكسي (يرمز لها بالحروف dATP و dCTP و dGTP و dTTP) هي التي تشارك في تخليق الحامض DNA (الشكل ٤-٢٨) . ويتصل كل نيوكليوتيد بالجزء المتنامي عند ذرة الكربون رقم ٣ للسكر الخماسي وحينما يتم هذا الاتصال فإن مجموعتي الفوسفات الثانية والثالثة تستبعدان (الشكل ٤-٢٩) . ولذلك يكون لكل خيط من الحامض DNA والحامض RNA «إتجاه» وتماكيا هي الحال مع البروتينات حيث يتجمع الجزيء من النهاية N إلى النهاية C فإن بلمرات DNA و RNA تتجمع وتُقرأ اصطلاحياً في الاتجاه من ذرة الكربون رقم ٥ إلى ذرة الكربون رقم ٣ . وعلى ذلك فإن جزيء الحامض DNA الذي له التابع 5 ATCCGTG3 ليس هو نفس الجزيء الذي له التابع 3 GTGCCTA5

		نيوكليوسايد	نيوكليوتيدات		
			أحادي الفوسفات	ثلاثي الفوسفات	ثلاثي الفوسفات
RNA	Adenine (A)	Adenosine	AMP	ADP	ATP
	Guanine (G)	Guanosine	GMP	GDP	GTP
	Cytosine (C)	Cytidine	CMP	CDP	CTP
	Uracil (U)	Uridine	UMP	UDP	UTP
DNA	Adenine (A)	Deoxyadenosine	dAMP	dADP	dATP
	Guanine (G)	Deoxyguanosine	dGMP	dGDP	dGTP
	Cytosine (C)	Deoxycytidine	dCMP	dCDP	dCTP
	Thymine (T)	Deoxythymidine	dTMP	dTDP	dTTP

الشكل ٤-٢٨ . نظام تسمية النيوكليوسيدات ومشتقاتها أحادي وثلاثي الفوسفات .



الشكل ٤-٢٩. بلعمة الحامض DNA. تنمو السلسلة باضافة كل نوكليوتيدة الى ذرة الكربون رقم ٣ الحرة في السكر الخاسي. بلعمة الحامض RNA تتم بنفس الطريقة إلا أن الوحدات البنائية هي الرايونوكليوسيدات ثلاثي الفوسفات.

وفي المراحل المبكرة لدراسة الحامض DNA ظهرت حقيقة غريبة. فعلى الرغم من أن نسب النوكليوتيدات في الحامض DNA كانت مختلفة من نوع إلى نوع إلا أنه مهما كانت كمية الأدينين (A) في عينة ما من الحامض DNA فإن كمية الثايمين (T) كانت مساوية لها تماماً. وبالمثل فإن كمية السيتوزين (C) في الحامض DNA لنوع معين كانت دائماً مساوية لكمية الجوانين (G). وسوف تتضح أهمية هذه النتائج في الباب رقم ١٢ حينما ندرس تركيب الحامض DNA بتفصيل أكثر.

علينا كذلك أن نلاحظ أن كمية وتركيب القواعد في الحامض النووي DNA في أي خلية (دم - كبد - كلية . . . الخ) لكانت ما متشابه دائماً (ماعدا في الأسماك - الحيوانات المنوية والبويضات - التي يوجد فيها نصف ما للخلايا الأخرى من الحامض DNA) وهذا أيضاً له أهمية قصوى سوف نلمسها في أبواب لاحقة.

تلعب النيوكليوتيدات أدوار هامة أخرى الى جانب كونها وحدات الحامض DNA والحامض RNA. فجميع الكائنات الحية تستعمل ثلاثى فوسفات الأدينوزين ATP كعملة لنقل الطاقة من التفاعلات المنتجة للطاقة إلى جميع التفاعلات المستهلكة للطاقة في الخلية. سيدرس هذا الدور الذي يلعبه ATP في البابين رقم ٧ و ٨. في أبواب لاحقة سنجد كذلك أن النيوكليوتيدات تساهم في نشاط الكثير من الإنزيمات والهرمونات.

في هذا الباب والباب السابق درسنا مجموعة من التركيبات إنتهت الى الجزئيات الكبيرة ذات الحيوية البالغة لتكوين ووظيفة الكائنات الحية وعلينا الآن أن نحاول سد واحد من أكبر الفراغات في معلوماتنا عن تنظيم المادة الحية. وذلك بمجدد كيف تتجمع وتنظم هذه الجزئيات الكبيرة لتبنى التراكيب المختلفة للوحدة الأساسية للحياة نفسها ألا وهي الخلية.

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

تتكون الكائنات الحية من جزيئات عضوية أي جزيئات تحتوي على ذرات كربون. وترتبط ذرات الكربون مع بعضها في الجزئيات العضوية بروابط تساهمية في حلقات أو سلاسل يتراوح عدد ذرات الكربون فيها بين ذرتين وملايين الذرات. وهناك ٤ مراتب من الجزئيات العضوية في الكائنات الحية.

١ - جزيئات الليبيد التي تحتوي على نسبة كبيرة من ذرات الكربون والهيدروجين. الليبيدات مكونات أساسية في أغشية الخلية كما أنها مصدر غني بالطاقة. وأغلب الليبيدات غير قابل أو قليل الذوبان في الماء.

٢ - جزيئات الكربوهيدرات تحتوي على ذرات الكربون والهيدروجين والأكسجين حيث تكون نسبة ذرات الهيدروجين إلى ذرات الأكسجين هي ٢ : ١. السكريات هي من المواد الكربوهيدراتية وبعضها مصدر جيد للطاقة وهي أيضا الوحدات البنائية لبلمرات مثل النشا والسيليلوز.

٣ - البروتينات هي بلمرات غير متفرعة وخطية وذات جزيئات كبيرة، وحداتها هي الأحماض الأمينية. تستخدم الكائنات الحية ٢٠ حمض أميني في تخليق البروتينات.

٤ - الأحماض النووية أيضاً بلمرات غير متفرعة خطية. ووحداتها التركيبية هي النيوكليوتيدات. الحامض DNA يتكون من دي أكسي ريسونيوكلوتيدات. ويشكل الحامض DNA المعلومات الوراثية التي تبنى عليها غالبية الكائنات الحية.

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين و مسائل

- ١ - أكتب الصيغة التركيبية للدهن المتعادل ثلاثي البالميتين (حامض البالميتيك =  $(C_{15} H_{31} COOH)$
- ٢ - أكتب معادلة لتحويل ثلاثي البالميتين إلى صابون.
- ٣ - ميز بين النظائر والنظائر الضوئية.
- ٤ - ميز بين التركيب الابتدائي والثانوي والثلاثي والرابعي للبروتين.
- ٥ - كيف يختلف الحامض RNA عن الحامض DNA.
- ٦ - ما هو نوع الغذاء الذي ينتج أكبر كمية من الماء الأيضى عندما يتأكسد.
- ٧ - أكتب للصيغة التركيبية لثلاثي الببتيد الذي يحتوي على جلايسين - ألانين - فينيل ألانين.
- ٩ - أي من عديدي الببتيد التخليقيين ألانين ينتج محلول أكثر قاعدية: عديد الليسين أو عديد الفينيل ألانين؟ أيها أكثر قابلية للذوبان في الماء. ؟
- ١٠ - أذكر إسم نظير ضوئي للجلكوكوز وللسكروز.

## References

## المراجع

- 1- PHELPS, C.F. Polysaccharides, Oxford Biology Readers, No. 27, Oxford University Press, Oxford, 1972.
- 2- PHILLIPS, D.C. and A.C.T. NORTH, Protein Structure, Oxford Biology Readers, No. 34, Oxford University Press, Oxford, 1973. Includes a viewer through which many of the illustrations can be seen in three dimensions.
- 3- DICKERSON, R.E., and I. GEIS, The Structure and Action of Proteins, Benjamin, Menlo Park, Calif., 1969. Includes several stereo pairs of models of proteins. A stereo supplement and stereo viewer are also available.
4. THOMPSON, E. O. P., "The Insulin Molecule, " Scientific American Offprint No. 42, May, 1955. Describes the techniques used to determine the primary structure of the insulin molecule.
5. KENDREW, J. C., "The Three - Dimensional Structure of a Protein Molecule," Scientific American, Offprint No. 121, December, 1961. How X-ray crystallography was used to determine the tertiary structure of the myoglobin molecule.
6. PERUTZ, M. F., "The Hemoglobin Molecule," Scientific American. Offprint No. 196, November, 1964. How the tertiary structure of hemoglobin was established.
7. KORNBERG, A., "The Synthesis of DNA ", Scientific American, Offprint No. 1124, October, 1968. In describing how biologically active DNA was first synthesized in the test tube, the author provides a clear exposition of the chemistry and structure of DNA.

## CHAPTER 5

## الباب الخامس

### THE CELLULAR BASIS OF LIFE      الأساس الخلوي للحياة

THE CELL AS THE UNIT OF STRUCTURE OF LIVING THINGS	١-٥ . الخلية كوحدة التركيب في الكائنات الحية
THE CELL MEMBRANE	٢-٥ . غشاء الخلية
THE NUCLEUS	٣-٥ . النواة
THE CYTOPLASM	٤-٥ . السيتوبلازم
MITOCHONDRIA	٥-٥ . الميتوكوندريا
CHLOROPLAST	٦-٥ . البلاستيدات الخضراء
RIBOSOMES	٧-٥ . الريبوسومات
THE ENDOPLASMIC RETICULUM	٨-٥ . الشبكة الإندوبلازمية
THE GOLGI APPARATUS	٩-٥ . جهاز جولجي
LYSOSOMES	١٠-٥ . الليسوزومات
PEROXISOMES	١١-٥ . البيروكسيزومات
VACUOLES	١٢-٥ . الفجوات
THE FUNCTIONS OF INTRACELLULAR MEMBRANES	١٣-٥ . وظائف الأغشية داخل الخلية
MICROFILAMENTS	١٤-٥ . الخيوط الدقيقة
INTERMEDIATE FILAMENTS	١٥-٥ . الخيوط البينية

<b>MICROTUBULES</b>	١٦-٥ . الأنابيب الدقيقة
<b>CENTRIOLES</b>	١٧-٥ . السنتريولات
<b>CILIA AND FLAGELLA</b>	١٨-٥ . الأهداب والأسواط
<b>CELL COATINGS</b>	١٩-٥ . طلاءات الخلية
<b>PROKARYOTES VERSUS EUKARYOTES</b>	٢٠-٥ . بدائيات النواة وحقيقيات النواة
<b>DIFFERENTIATION</b>	٢١-٥ . التشكل
<b>ANIMAL TISSUES</b>	٢٢-٥ . الأنسجة الحيوانية
<b>PLANT TISSUES</b>	٢٣-٥ . الأنسجة النباتية
<b>CELL - TO - CELL JUNCTION</b>	٢٤-٥ . الاتصالات بين الخلايا
<b>CHAPTER SUMMARY</b>	ملخص الباب
<b>EXERCISES AND PROBLEMS</b>	تمارين ومسائل
<b>REFERENCES</b>	المراجع



## الباب الخامس

### الأساس الخلوي للحياة

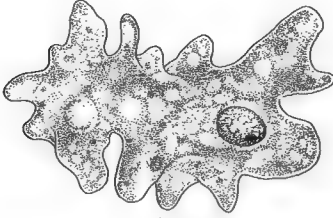
في الباب السابق درسنا تركيب بعض الجزئيات الكبيرة المميزة للمادة الحية ولكن السيليلوز والنشا والبروتين وحتى الأحماض النووية ليست حية . فقط عندما تنتظم هذه (وغيرها) في الأنظمة المعقدة الفعالة التي تتكون منها خلية فإنها تعبر الحد الفاصل بين غير الأحياء والأحياء . الخلية هي أصغر وحدة للحياة . ونهدف في هذا الباب إلى دراسة بعض السمات التركيبية للخلايا . وفي سبيل ذلك سوف نحاول أن نضيق واحدة من أوسع الفجوات في علوم الأحياء : كيف تبنى التركيبات المرئية في الخلية من الجزئيات الكبيرة التي درسنا تركيبها آنفا .

#### ١-٥ . الخلية كوحدة التركيب في الكائنات الحية .

#### THE CELL AS THE UNIT OF STRUCTURE OF LIVING THINGS

في حالات كثيرة تكون الخلية المفردة هي الكائن الحي . الأميبا amoeba (الشكل ١-٥) التي تقطن المياه العذبة واحدة من هذه الحالات . وهي خلية يبلغ عرضها ٣٠٠ ميكرومتر أي حوالي نقطة في هذه الصفحة . وفي داخل هذه العبوة توجد الآليات التي تؤدي بها جميع وظائف الحياة . فهي تغذي نفسها وبطرق أخرى تتبادل المادة والطاقة مع بيئتها ، وهي تستجيب للمؤثرات وتنمو وتتكاثر .

البكتريا الكروية العنقودية staphylococcus هي خلية كروية يبلغ قطرها ١ ميكرومتر (الشكل ١-٥) وهي أصغر بكثير من أن ترى بدون التكبير العالي للمجهر . ومع ذلك فهي أيضا تحتوي في خلاياها المفردة على آليات الحياة . وأصغر من ذلك هي

أميبيا (300 +  $\mu\text{m}$ )خلية من خد إنسان (80  $\mu\text{m}$ )خلية دم حمراء (7.5  $\mu\text{m}$ )بكتيريا كروية عنقودية (1  $\mu\text{m}$ )ميكوبلازما (0.15  $\mu\text{m}$ )

الشكل ١-٥. مقارنة أحجام خلايا مختلفة. تكاد الأميبا أن ترى بالعين المجردة والميكوبلازما لا ترى بوضوح إلا تحت المجهر الإلكتروني.

الميكوبلازما mycoplasma هذه المخلوقات وحيدة الخلية تبلغ من الصغر حداً بحيث لا يمكن رؤيتها إلا بواسطة مجهر إلكتروني . ولكنها ما زالت كائنات حية بكل معنى الكلمة وتتضح فيها كل مظاهر الحياة وهي في الواقع أصغر خلايا وأصغر الكائنات الحية المعروفة . بل أنه يبدو مستحيلاً لجميع وتنظيم آليات جزيئية تكفي للحياة في حيز أصغر من حجم الميكوبلازما .

معظم المخلوقات على هذا الكوكب تتكون من عديد من الخلايا والإنسان البالغ يحتوي على  $6 \times 10^{13}$  من الخلايا المختلفة . هناك مثالان تسهل دراستهما وهما الخلايا الطلائية التي تبطن السطح الداخلي للخد وكرات الدم الحمراء (الشكل ١-٥) . وسوف نذكر أمثلة أخرى في نهاية هذا الباب . تختلف هذه الخلايا عن خلايا الكائنات

وحيدة الخلية مثل الأميبا في ناحية هامة: فهي لا تستطيع أن تعيش حياة مستقلة أي أنها لا تستطيع القيام بكل وظائف الكائن الحي. فكل خلية منها حية بدون شك ولكن كل خلية تكون متخصصة في أداء وظيفة واحدة أو وظائف قليلة للكائن التي هي جزء منه وعلى ذلك تكون كل خلية معتمدة على الخلايا الأخرى في أداء الوظائف التي لا تستطيع هي القيام بها. فالخلية العصبية مثلاً تنقل بسرعة الإشارات الكهربائية في الجسم ولكنها تعتمد بالكامل على خلايا الدم الحمراء التي تجلب لها الأكسجين الذي تموت بدونه.

وعلى الرغم من تباين أنواع الخلايا فأنا نجد بعض الصفات التركيبية والوظيفية المشتركة بين معظم (وليس بالضرورة كل) الخلايا. وهدفنا الأساسي في هذا الباب هو دراسة أهم هذه الصفات.

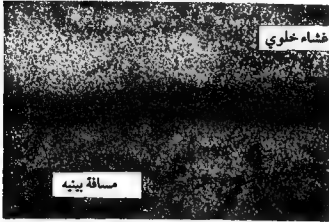
## THE CELL MEMBRANE

### ٢-٥. غشاء الخلية

واحدة من الميزات العامة للخلايا هي وجود غشاء خارجي محدد لها. غشاء الخلية هذا يعمل كخط مواجهة بين الآليات الموجودة في داخل الخلية والسائل المائي الموجود خارجها. وغشاء الخلية رقيق لدرجة أنه لا يرى إلا بالمجهر الإلكتروني. في الشكل (٢-٥) توجد صورة مجهر إلكتروني توضح قطاع في أغشية خليتين متجاورتين وكل غشاء سمكة حوالي ١٠ نانومتر. والفحص الدقيق يبين أن الغشاء يتكون من ٣ طبقات تبدو كخطين قائمين يفصلها فراغ.

طريقة أخرى للدراسة غشاء الخلية هي عزلة عن بقية الخلية ومعرفة الجزئيات التي يتكون منها. وكرات الدم الحمراء هي مصدر سهل للحصول على تمهيزات نقية من الغشاء. وبين التحليل الكيميائي أن الغشاء يحتوي على حوالي ٥٠٪ ليبيد و ٥٠٪ بروتين.

أما الليبيد فإنه يتكون أساساً من فوسفوليبيدات (مثل فوسفاتيديل إيثانول - أمين - راجع الشكل ٤-٧) والكوليستيرول. والفوسفوليبيدات كما تذكر جزئيات مزدوجة المحبة للماء أي أن كل جزيء يحتوي على رأس محب للماء وذيل كاره للماء وقد رأينا بالفعل طريقتين يمكن لهذه الجزئيات بها توجيه أنفسهم عند تعرضهم للماء من أحد

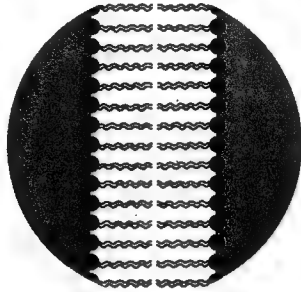


الشكل ٥-٢. غشاء الخلية (١٧٠٠٠٠ مرة) ويشاهد هنا غشائي خليتين متجاورتين (عن فاوست : الخلية. محتوياتها وعضاياتها. و. ب. سوندرز ١٩٦٦).

الاتجاهات (الشكل ٤-٦). ولكن غشاء الخلية يلامس الماء على جانبية فداخل الخلية مائي وخارجها السائل المحيط بها ولذلك فإن غشاء الخلية يكون بمثابة حاجز بين وسطين مائين فكيف يمكن للفوسفوليبيدات مزدوجة المحبة للماء أن تتكيف مع هذه المتطلبات؟ عنوضع نقطة من الفوسفوليبيد في الماء فإن الجزيئات تترتب في أزواج بطريقة ذيل للذيل وبذلك تكون رؤوسهم المحبة للماء متجهة نحو الخارج أي إلى الوسط المائي على كل جانب بينما تكون الذيل الكارهة للماء محمية من ملامسة الماء (الشكل ٣-٥).

هكذا تتكون طبقة مزدوجة من الفوسفوليبيد phospholipid bilayer لها معظم خصائص الأغشية الخلوية، فهي تسمح مثلاً بمرور الجزيئات الكارهة للماء من جانب إلى آخر بسهولة ولكنها تشكل حاجزاً يمنع مرور الأيونات  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ . مثل هذا الغشاء الذي يسمح بمرور بعض الجزيئات والأيونات وليس البعض الآخر يوصف بأنه إنتخابي النفاذية. الأغشية الخلوية وهذه الأغشية الاصطناعية إنتخابية النفاذية وبلغ سمك هذه الأغشية الاصطناعية ذات الطبقة المزدوجة من الفوسفوليبيد حوالي ٥, ٤ نانومتر.

ماذا عن البروتينات التي توجد مصاحبة للأغشية؟ هناك عدة نقاط استقر الرأي عليها. الأولى هي أن بعض البروتينات يسهل فصلها عن الليبيد في الغشاء عن بروتينات أخرى. والبروتينات التي يسهل فصلها عن الليبيد تميل إلى أن تكون محبة للماء بسبب محتواها الكبير من رواسب الأحماض الأمينية المحبة للماء وفضلاً عن ذلك فإن

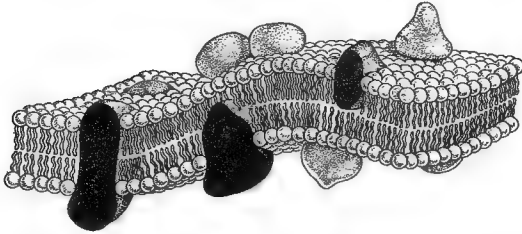


الشكل ٣-٥. طبقة مزدوجة  
من الفوسفوليبيد. هذا التركيب  
يتشبه حاجزاً مستقراً بين محلولين  
مائيين.

بعض هذه البروتينات تحتوي على سكرات وعديدات تسكر مترابطة تساهميا. والسكرات بها لها من محتوى كبير من مجموعات الهيدروكسيل تساهم أيضا في الطبيعة المحبة للماء لهذه الجلايكوبروتينات glycoproteins وهذه البروتينات التي يسهل فصلها والمحبة للماء تسمى بروتينات خارجية extrinsic proteins وهي توجد على السطحين الخارجي والداخلي لغشاء الخلية (الشكل ٥-٤) ( الجلايكوبروتينات توجد بصفة خاصة على السطح الخارجي). هذه البروتينات الخارجية ربما لا تنفذ خلال الطبقة المزدوجة من الفوسفوليبيد للغشاء.

بروتينات أخرى تنفذ إلى الطبقة المزدوجة من الليبيد وأحيانا تنفذ خلالها بالكامل. هذه هي البروتينات الداخلية intrinsic proteins (الشكل ٥-٤). الجزء من جزيء البروتين الذي يستقر في الطبقة المزدوجة من الليبيد يكون كاره جداً للماء بفضل ما له من محتوى كبير من الأحماض الأمينية الكارهة للماء. وعلى الرغم من ذلك فإن أجزاء السلسلة عديدة الببتيد التي تبرز من الطبقة المزدوجة لليبيد يكون بها نسبة عالية من الأحماض الأمينية المحبة للماء.

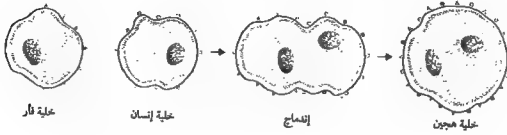
الغشاء الخلوي غير متماثل حيث تكون البروتينات الخارجية المصاحبة للسطح الخارجي من الغشاء مختلفة تماما عن البروتينات المصاحبة للسطح الداخلي. وطبقة الليبيد المزدوجة هي أساسا شريط من الزيت ولذلك نتوقع أن تكون المواد المنغمسة فيها



الشكل ٥-٤. تركيب أغشية الخلية. الأشياء الكروية تمثل بروتينات ملتصقة أو مختزقة لطبقة الفوسفوليبيد المزدوجة. الأجزاء المعرضة من البروتينات تميل إلى أن تكون محبة للماء بينما تميل الأجزاء المغمورة في طبقة الفوسفوليبيد المزدوجة إلى أن تكون كارهة للماء.

حرة نسبياً لتسيح فيها ويبدو أن الحالة كذلك فعلاً. فهناك الآن وسائل معملية تجعل من الممكن دمج أغشية من نوعين مختلفين تماماً من الخلايا. وعندما يحدث ذلك فإن البروتينات المميزة لكل خلية سرعان ما تختلط مع بعضها (الشكل ٥-٥). ملاحظة أخرى تؤيد فكرة أن بروتينات الغشاء حرة نسبياً لتحرك جانبياً في الطبقة المزدوجة من الليبيد هي ظاهرة التغطية capping. من الممكن إتصال علامات markers - جزيئات يمكن بسهولة جعلها مرئية - إلى بروتينات الغشاء في أنواع معينة من الخلايا. هذه العلامات يمكن أن تكون جزيئات متألقة أو مشعة. وفي البداية تتوزع هذه الجزيئات بالتساوي على سطح الخلية ولكنها تهجر بسرعة إلى أحد أجزاء الخلية. ونفترض أنها قد نقلت إلى هناك بواسطة حركة بروتينات الغشاء التي إتصلت بها.

توجد الأغشية كذلك داخل جميع أنواع الخلايا تقريباً. وتحت المجهر الإلكتروني يكون لهذه الأغشية الداخلية نفس مظهر غشاء الخلية أو على الأقل مظهر مشابه له. وهي أيضاً تحتوي على الليبيد والبروتين ولكن بعض الليبيدات قد تكون مختلفة عن تلك الموجودة في غشاء الخلية. والبروتينات في الأغشية الداخلية بالتأكيد مختلفة عن بروتينات غشاء الخلية وهذه الاختلافات في التركيب تعكس الوظائف الخاصة التي تقوم



الشكل ٥-٥. إنماج الخلايا. السرعة التي يتم بها الخلط التام بين بروتينات أسطح الخلايا دليل حي على سلامة الغشاء الخلوي.

بها هذه الأغشية الداخلية. واحدة من هذه الوظائف هي تكوين أنواع من الحجرات التي تغلفها هذه الأغشية داخل الخلية. وأوضح هذه الحجرات هي التي نسميها النواة. وفي الواقع فإن النواة تجذب الانتباه في معظم الخلايا للدرجة أن كل ما عداها في الخلية ينضم تحت كلمة ميتوبلازم.

## THE NUCLEUS

### ٣-٥. النواة

النواة يحدها من الخارج زوج من الأغشية ولذلك يكون الغلاف المحيط بها مستمراً ولكن توجد به ثقب كما يتضح من الشكل ٥-٦. وهذه الثقوب قد تسمح بمرور المواد من وإلى داخل النواة.

يوجد داخل غشاء النواة وسط نصف سائل معلقة فيه الكروموسومات أو الصبغيات. وهذه توجد عادة على هيئة خيوط طويلة تصعب رؤيتها بالمجهر الضوئي. وتسمى كروماتين عندما تكون في هذه الحالة.

عندما تستعد الخلية للانقسام إلى خليتين يتغير مظهر الكروموسومات فتتلف الخيوط الطويلة الرفيعة على نفسها وتتحول إلى أجسام غليظة كثيفة حيث يمكن بمساعدة أصباغ مناسبة رؤيتها بسهولة بواسطة المجهر الضوئي (الشكل ٥-٧). وأثناء عملية إنقسام الخلية تنوزع الكروموسومات بأعداد متساوية تماماً بين الخليتين البنويتين daughter cells.

من الناحية الكيميائية تتركب الكروموسومات من الحامض DNA وبروتينات. وغير

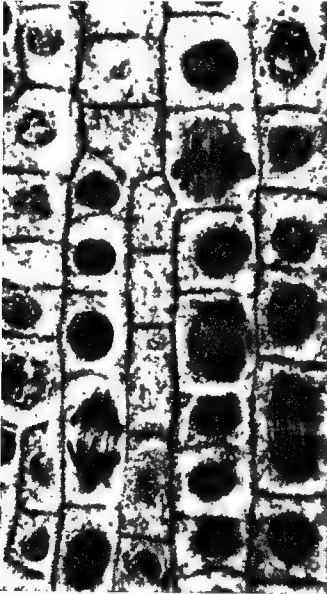


الشكل ٥-٦. النواة والسيتوبلازم المحيط بها في خلية من بنكرياس الخفاش (١٨٠٠٠ مرة). لاحظ البناء مزدوج الطبقة للنشأة النووي والظوب الموجودة به. هل يمكنك التعرف على تراكيب خلوية أخرى؟ (صورة بالمجهر الإلكتروني بتصريح من د. دون و. فاوست).

معروف على وجه اليقين ما إذا كان الكروموسوم الواحد يحتوي على جزء واحد فقط من حامض DNA أو عدة جزيئات منه ولكن الأدلة ترجح الحالة الأولى.

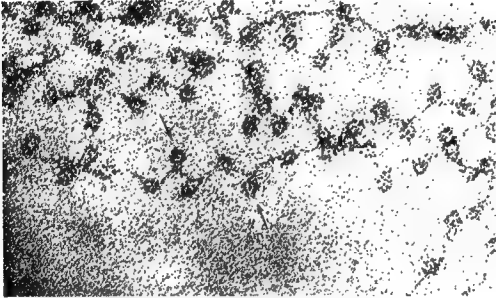
والبروتينات الرئيسية المصاحبة للكروموسومات هي الهستونات histones والهستونات بروتينات قاعدية وذلك لأنها غنية بالأحماض الأمينية مثل لايسين وأرجنين.





الشكل ٥-٧. خلايا  
منقطة من جذور البصل.  
الزوايا الداكنة التي تشبه  
حدوة الحصان هي  
الكروموسومات. في معظم  
الخلايا لا يمكن مشاهدتها  
إلا في وقت انقسام الخلية.  
وهي الفترة المسماة بالانقسام  
غير المباشر.  
(بتصريح من تيرتوكس).

وكل من هذه الأحماض به مجموعة أمينو حرة يمكنها إكتساب بروتون على زوج  
الايكترونات غير المتقسم بها. على ذلك تكون المستونات موجبة الشحنة. أما الحامض  
DNA فهو سالب الشحنة لكثرة مجموعات الفوسفات به، فلا عجب إذن إذا كانت  
المستونات قوية الارتباط بالحامض DNA. وهناك خمسة أنواع من المستونات في  
الكروموسومات.



الشكل ٨-٥. تركيب الكروماتين من خلية دم حمر في الصوص. الأجسام الكروية (مميزة بأشهرهم) هي النيوكليوسومات وكل منها يتكون من حشوة من جزيئات المستون مغلقة بالحامض DNA. النيوكليوسومات تتصل بخيط من الحامض DNA طوله حوالي ١٤٠ انجستروم (يتصرح من دونالد إي. أولينز وأدا ل. أولينز - جامعة تينيسي).

١

عندما يحضر الكروماتين بطريقة خاصة فإن المجهر الاليكتروني يبين خيوط طويلة تحمل إنتفاخات موزعة على مسافات متساوية. هذه الإنتفاخات تسمى نيوكليوسومات nucleosomes (الشكل ٨-٥) أي الأجسام النووية أما الخيط الموصل بينها فهو الحامض DNA. كل جسم نووي يحتوي على الحامض DNA وأربعة من أنواع المستونات الخمسة.

توجد بروتينات أخرى مع الحامض DNA في الكروماتين ولكن بكميات أقل من المستونات وهذه البروتينات الأخرى توصف أحيانا بالبروتينات الحامضية ولكن اللاهستونية قد يكون وصفا أدق. العلاقات الوظيفية بين الحامض DNA والمستونات واللاهستونات سوف نتعمق فيها في باب لاحق.

أثناء الفترة بين إنقسامات الخلية حينما تكون الكروموسومات في حالتها المتمددة فإن واحدا أو أكثر منها قد يحمل كتلة كبيرة كروية. هذا الجسم (النوية nucleolus) يمكن

مشاهدة بسهولة من خلال المجهر الضوئي . هنا يتم تخليق عدة أنواع من الحامض RNA التي تستعمل في تجميع الريبوسومات ribosomes. الريبوسومات لاغنى عنها لتخليق البروتينات في الخلية ولا عجب إذن أن الخلايا النشيطة جداً في تخليق البروتين تحتوي عادة على نويات كبيرة .

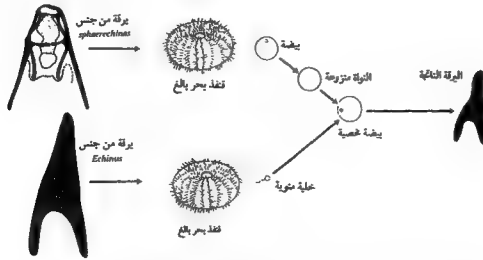
النواة هي مركز التحكم في الخلية، فإذا تحطمت النواة في خلية بيضة فلن تتمكن البيضة من التحول إلى فرد جديد وإذا ما إنتزعت النواة من الأميبا فإن الكائن يستمر حياً لأيام قليلة . ومع ذلك فلن يستطيع التغذية أو التكاثر وفي النهاية يموت . أما إذا أمكن حقن نواة في الأميبا في خلال يوم أو يومين من عملية إنتزاع النواة فإنها تستعيد نشاطها العادي وقدرتها على التكاثر .

وحتى قبل إختراع المجهر التناولي الدقيق micromanipulator فإن أهمية النواة في تحديد ما يحدث في سيتوبلازم قد تحققت للعالم الألماني تيودور بوفري . فقد استطاع بوفري إنتزاع الأنوية من بيضات أحد أنواع قنفذ البحر من جنس *Sphaerechinus* بواسطة الرج الشديد . ثم سمح لهذه البيضات المنزوعة الأنوية أن تخصب بحيوانات منوية من قنفذ البحر من جنس *Echinus* . الحيوانات المنوية أصغر بكثير من خلايا البيضات حيث تتكون من نواة وذيل يدفعها . في عملية الإخصاب تخترق النواة خلية البيضة وبالتالي فإن إخصاب البيضات منزوعة الأنوية لجنس *Sphaerechinus* بحيوانات منوية من جنس *Echinus* يؤدي إلى إستبدال نوع من الأنوية بنوع آخر . وقد حفز الإخصاب خلايا البيضات الى الانقسام والتحول إلى يرقات قنفذ البحر . نظرة إلى الشكل (٥-٩) توضح أن هذه اليرقات تحمل كل صفات النوع من جنس *Echinus* وليس *Sphaerechinus* وعلى الرغم من أن إسهام *Echinus* إلى الجهاز ككل يزيد قليلا عن نواة مفردة ضئيلة فإن هذه النواة دفعت الكتلة الهائلة من سيتوبلازم *Sphaerechinus* إلى النمو طبقاً لخطة *Echinus* .

## THE CYTOPLASM

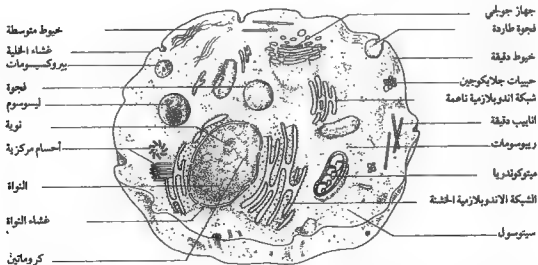
### ٥-٤ . السيتوبلازم

إستعملت كلمة سيتوبلازم تقليدياً لوصف كل شىء داخل الخلية ماعدا النواة . وفي الأيام الاولى لعلم الخلية عندما كان النذر اليسير معروفاً عن تنظيم المواد خارج النواة كانت هذه الكلمة مفيدة . ولكن مع ظهور الطرق المحسنة لدراسة الخلية فقد عرفنا



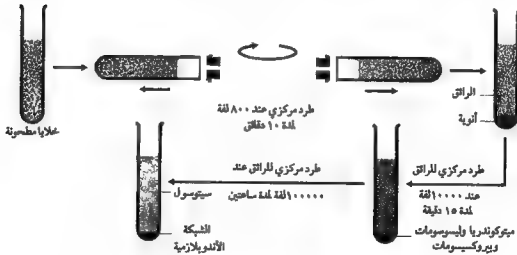
الشكل ٥-٩. تجربة بولري التي أوضحت أهمية النواة في السيطرة على الخلية. نواة من جنس *Echinus* في سيتوبلازم من جنس *Sphaerechinus* أنتجت يرقة لها خصائص جنس *Echinus*.

الكثير عن التعقيدات غير العادية للتركيب الموجودة في منطقة السيتوبلازم. وقد بين المجهر الإلكتروني الأنماط المعلقة للأغشية والغرف التي تحدها الأغشية الموجودة في السيتوبلازم (الشكل ٥-١٠). هذه التركيب واضحة المعالم تسمى العضيات (organelles).



الشكل ٥-١٠. منظر خلوية حيوانية نموذجية كما قد تشاهد تحت المجهر الإلكتروني. على الرغم من عدم وجود صورة واحدة بالمجهر الإلكتروني تبدو فيها كل التركيب المينة فإن الرسم يمثل منظرا مركبا لما قد يبدو في عدة صور بالمجهر الإلكتروني كتنظيم لأجزاء الخلية.

طريقة مفيدة أخرى للدراسة أجزاء الخلية هي تهشيم عدد كبير من الخلايا ثم وضعهم في أنبوبة ولف الأنبوبة في جهاز للطرد المركزي. سوف يوقع ذلك قوة طرد مركزية على العضيات في خليط الخلايا حيث تقذف الأشياء الكبيرة أو الثقيلة إلى قاع الأنبوبة أسرع من الأشياء الصغيرة الخفيفة. وتعرض غلوط الخلايا للطرد المركزي لمدة ١٠ دقائق بقوة تعادل حوالى ٨٠٠ مرة قوة الجاذبية الأرضية سيجعل الأنبوبة ترسب في قاع الأنبوبة لتكون راسب ( الشكل ٥-١١ ). وعند إستعمال قوة أكبر لمدة أطول ترسب العضيات الأصغر والأخف. ويمكن فصل هذه العضيات ودراستها كيميائيا ومجهريا. وبعد التعرض للطرد المركزي لمدة ساعتين بقوة ١٠٠٠٠٠ مرة قدر قوة الجاذبية تكون كل عضيات الخلية تقريبا قد ترسبت. أما السائل المتبقي فوق الراسب فهو يمثل ما تبقى من السيتوبلازم بعد فصل كل العضيات. هذه إذن هي المادة التي كانت عضيات السيتوبلازم معلقة بها. وقد أعطيت عدة أسماء مثل المادة الأساسية ground substance و الهياويلازم hyaloplasm و السيتوسول cytosol وغيرها. وهي تتكون أساساً من الماء مذابا فيه عديد من الجزيئات الصغيرة والأيونات وكميات كبيرة من البروتين وفي الواقع فإن عدداً من الانزيمات الضرورية لأيض الخلية



الشكل ٥-١١. تجزئة الخلية بواسطة الطرد المركزي. يتم أولاً تهشيم الخلايا لخروج محتوياتها ثم يعمل الطرد المركزي البطيء على ترسيب التراكيب الثقيلة وهي الأنوية في قاع الأنبوبة أما السائل المتبقي فيتمعرض لطرد مركزي أقوى فتترسب العضيات الأصغر مثل الميتوكوندريا. وبعد طرد مركزي أخير فإن السائل يحتوي على ريبوسومات وحرارة وبعض الجزيئات الذائبة في السيتوسول.

توجد هنا . ولكن أغلب وظائف السيتوبلازم هي وظائف العضيات الموجودة فيه . دعنا الآن ندرس هذه الوظائف .

## MITOCHONDRIA

## ٥-٥ . الميتوكوندريا

الميتوكوندريا هي أجسام كروية أو عصوية تتراوح في الحجم بين ٢ , ٠ ميكرون الى ٥ ميكرون ويختلف عددها في الخلية ولكن الخلايا النشيطة ( خلايا الكبد مثلا ) قد تحتوي على أكثر من ألف منها . وعلى الرغم من أن الميتوكوندريا الكبيرة يمكن مشاهدتها بالمجهر الضوئي إلا أن المجهر الاليكتروني فقط هو الذي يستطيع توضيح تركيبها . تبين صور المجهر الاليكتروني أن كل ميتوكوندريون يكون محددًا بغشاء مزدوج . الغشاء الخارجي يكون أملس غير متقطع أما الغشاء الداخلي فتوجد به إنحناءات متكررة تبرز إلى داخل تجويف الميتوكوندريون (الشكل ٥-١٢) . هذه الانحناءات التي تشبه الرفوف تسمى زوائد *cristae* .

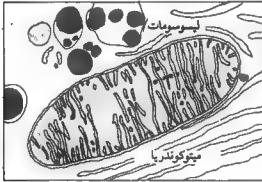
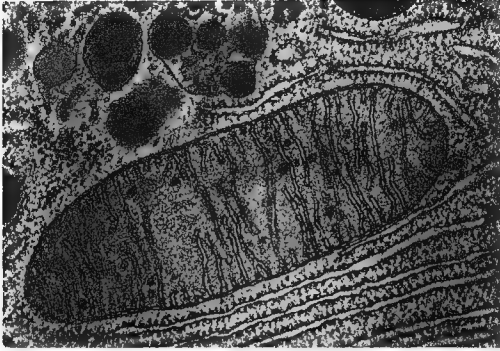
ويبدو أن أغشية الميتوكوندريا تشبه غشاء الخلية فهي تحتوي مثلها على الفوسفوليبيد والبروتين وبعض البروتين خارجي بينها الكثير منه داخلي أي منغمس في الطبقة المزدوجة من الليبيد .

وظيفة الميتوكوندريا واضحة تماما . فهي تحتوي على الانزيمات التي تقوم بأكسدة المواد الغذائية وهي تقوم بتخليق ATP وهو عملة الطاقة في الخلية . وعلى ذلك فإن الميتوكوندريا تقوم بتحويل الطاقة الموجودة في مختلف المواد الغذائية الى طاقة مخزنة في ATP . وتستغل الخلية الطاقة الموجودة في ATP للقيام بنشاطاتها المختلفة . وعلى ضوء ذلك فلا عجب أن تتجمع الميتوكوندريا في أكثر أجزاء الخلية نشاطا . والخلايا العصبية والخلايا العضلية والخلايا الإفرازية تحتوي على العديد من الميتوكوندريا التي تقع في أكثر أجزاء الخلية نشاطا في نقل النبضات الكهربائية والانقباض والإفراز على الترتيب . وقد أطلق على الميتوكوندريا لقب بيت الطاقة في الخلية عن جدارة . وسوف ندرس تركيبها ووظيفتها بتفصيل أكبر في الباب السابع .

## CHLOROPLASTS

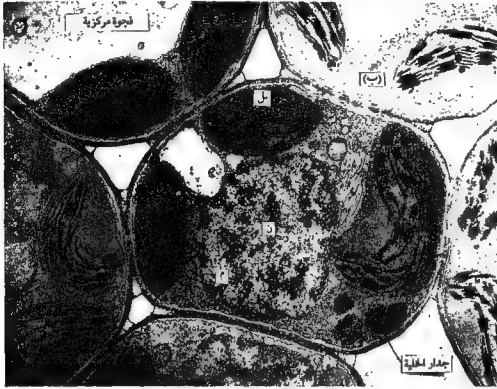
## ٦-٥ . البلاستيدات الخضراء

توجد البلاستيدات الخضراء في خلايا النباتات وبعض الطحالب فقط . وهي توجد



الشكل ٥-١٢. ميتوكوندريون من خلية بنكرياس الخفاش. لاحظ الغشاء المزدوج والطريقة التي يتثنى بها الغشاء الداخلي لتكوين زوائد. الأجسام الداكنة والمحاطة بغشاء أهل الميتوكوندريون هي الليسوسومات. (بتصريح من كيث ر. بورتر).

عادة في شكل قرصي يبلغ قطره ٥ إلى ٨ ميكرون ويبلغ سمكه ٢ إلى ٤ ميكرون (الشكل ٥-١٣). وقد تحتوي خلية نباتية واحدة على ٥٠ بلاستيدة. يجد البلاستيدة غشاء مزدوج يوجد بداخله نظام معقد من الأغشية الداخلية منغمسة في وسط سائل يسمى الحشوة stroma. والأغشية الداخلية غنية بالفوسفوليبيدات والبروتينات كما تحتوي كذلك على أصباغ أهمها الكلوروفيل chlorophyll (أو اليخضور). واللون الأخضر للكلوروفيل المختلط مع أغشيتها هو الذي يسبغ اللون الأخضر على البلاستيدات الخضراء وبالتالي على الخلايا والأنسجة النباتية المعرضة للضوء.



الشكل ٥-١٣. خلايا من ورقة عباد الشمس. لاحظ النواة (ن) والبلاستيدات الخضراء (بل) والميتوكوندريا (م) والبلاستيدات (ب) والفجوة المركزية والجدار الابتدائي للخلية في هذه الخلايا النموذجية.

(صورة بالمجهر الإلكتروني بتصريح من هـ. ج. أرنوت وكينيث م. سميث).

يعمل الكلوروفيل على إصطياد الطاقة من ضوء الشمس ثم استخدامها في تخليق الغذاء. ولذلك فإن البلاستيدة الخضراء هي مكان حدوث عملية البناء الضوئي photosynthesis. بدون العضيات لا يمكن أن توجد الحياة على الأرض. في الباب ٨ سوف ندرس عملية البناء الضوئي وفي أثناء ذلك سوف ندرس بعض التفاصيل تركيب ووظيفة البلاستيدات الخضراء.

## RIBOSOMES

## ٥-٧. الريبوسومات

الريبوسومات هي من أصغر التراكيب المعلقة في السيتوبلازم (الشكل ٥-١٠). هذه الاجسام الكروية تقريبا من الضلالة (٢٠ نانومتر) حتى أنها لا ترى الا بواسطة



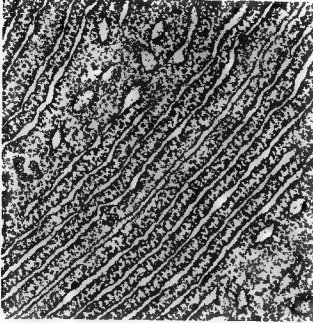
المجهر الإلكتروني . والريبوسومات هي المواقع التي يتم فيها تخليق البروتينات وقد تشكل الريبوسومات حوالى ٢٥٪ من الوزن الجاف للخلايا التي تكون نشيطة بصفة خاصة في تخليق البروتين (مثل خلايا الكبد).

وقد درست الريبوسومات في بعض البكتريا بتعمق لأنها أصغر و أقل تعقيداً من ريبوسومات الكائنات الأرقى . وفي بكتريا الأمعاء *E. coli* يحتوي كل ريبوسوم على نسخة واحدة من كل من الأنواع الثلاثة من الحامض RNA . وبالإضافة إلى ذلك يوجد ٥٤ جزيء بروتين مختلفة جميعهم ماعدا واحد أو اثنين في نسخ مفردة . ولذلك يمكن اعتبار الريبوسوم كتجمع منظم دقيق لجزيئات كبيرة . وهنا يمكن الربط بين التركيب المعروف للجزيئات الكبيرة ( البروتين والحامض RNA ) وتركيب إحدى العضيات بدقة أكبر من أي مكان آخر في الخلية . وسوف نقدم تفاصيل أكثر عن وظيفة الريبوسومات في تخليق البروتين في الباب ١٣ .

بعض البروتينات المختلفة في الخلية تضاف ببساطة الى سائل السيتوبلازم حيث تؤدي عملها فيه . وتخليق مثل هذه البروتينات ( مثل الهيموجلوبين في كرات الدم الحمراء ) يتم في الريبوسومات الموزعة عشوائياً في السيتوبلازم . في حالات أخرى يتم تغليف البروتينات المخلقة حديثاً فيما يشبه عضية يحدها غشاء . خلايا الكبد والبنكرياس على سبيل المثال تخلق كميات كبيرة من البروتينات يتم تغليفها بغشاء ثم في النهاية تفرزها الخلية . الريبوسومات التي يتم فيها تخليق هذه البروتينات تكون متصلة بأغشية الشبكة الاندوبلازمية .

## ٨-٥ . الشبكة الاندوبلازمية THE ENDOPLASMIC RETICULUM

الشبكة الاندوبلازمية هي نظام معقد من الأغشية داخل الخلية . وتبدو الأغشية في أزواج عندما ترى في قطاعات الخلية المجهزة للفحص بالمجهر الإلكتروني وتضم في ثناياها فجوات مفلطحة وأنابيب (الشكل ٥-١٤) . ومن المحتمل أن تكون هذه الفراغات على اتصال ببعضها البعض . وللأغشية تركيب من الليبيد والبروتين يشبه الأغشية الأخرى في الخلية . وكل غشاء في الشبكة الاندوبلازمية له سطح مواجه للسيتوسول وآخر مواجه لداخل التجويف .



الشكل ٥-١٤. الشبكة الإندوبلازمية الخشنة. صفوف الريبوسومات الموزعة بالتساوي تتصل بسطح الأغشية المواجهة للسيتوسول ويتم إفراز البروتينات التي تقوم بتخليقها إلى داخل القنوات التي تكونها أزواج الأغشية. (٨٥٠٠٠ مرة - بتصریح من كيث ر. بورتر).

إذا نظرت إلى صورة المجهر الأليكتروني في الشكل (٥-١٤) فإنك سوف ترى صفوفاً موزعة بانتظام من الريبوسومات الملتصقة بسطح أغشية الشبكة المواجهة للسيتوسول. هذه الشبكة الإندوبلازمية المرصعة بالريبوسومات تسمى الشبكة الإندوبلازمية الخشنة rough endoplasmic reticulum أو RER. الريبوسومات هي مواقع تخليق البروتين وهذه الملتصقة بـ RER تصب سلاسل عديد الببتيد المخلفة حديثاً في داخل تجاويف الشبكة. تحتوي النهاية الأمينية لعديدات الببتيد على تتابع إشارة خاص يتكون من ١٢ إلى ٢٤ من الأحماض الأمينية معظمها كارهة للماء ويعتقد أن هذا هو الذي يمكنها من أخترق الأغشية الكارهة للماء في RER. وبمجرد أن توجد على الجانب الآخر فإن تتابع الإشارة يستبعد منها. وبعد ذلك يحدث تعديل اضافي في عديد الببتيد مثل تكوين روابط ثنائي الكبريتيد بين وحدات السيستئين والتصاق السكريات بها. وبذلك تكون البروتينات المخلفة بواسطة RER معبأة داخل أغشية. وقد تبقى لكي تستعمل داخل الخلية أو قد يتم إفرازها من الخلية.

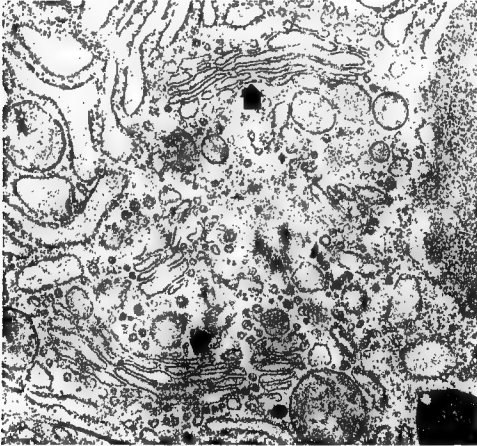
توجد الشبكة الإندوبلازمية أيضاً بدون ريبوسومات ملتصقة بها. تسمى شبكة إندوبلازمية ملساء smooth endoplasmic reticulum أو SER. ومن المحتمل أن

تكون SER مرتبطة بتخليق أنواع أخرى من الجزيئات مثل الدهون والفوسفوليبيدات والستيرويدات. وقد تكون أيضا مصدر الأغشية التي يتكون منها جهاز جولجي.

## THE GOLGI APPARATUS

### ٩-٥. جهاز جولجي

يوجد جهاز جولجي في كل الخلايا الحيوانية والنباتية تقريباً وهو يتكون من مجموعة من الأكياس المفلطحة المحددة بأغشية (الشكل ١٥-٥). وهو أوضح ما يكون في الخلايا النشيطة في الإفراز. تنتقل البروتينات المخلفة في RER إلى جهاز جولجي حيث يضاف إليها مواد كربوهيدراتية وعلى أي حال فإن البروتينات تتراكم في أكياس جهاز جولجي حتى تمتلئ هذه الأكياس تماماً بالبروتين وقد تهاجر هذه الأكياس المحشوة



الشكل ١٥-٥. جهاز جولجي (الأسهم). في هذه الخلية (من خفاش) يستعمل جهاز جولجي في المراحل الختامية لتخليق البروتينات التي تفرزها الخلية. (بتصريح من كيث ر. بورت).

بالبروتين إلى سطح الخلية لتفرغ محتوياتها إلى الخارج. وقد تبقى أكياس أخرى مملوئة بالبروتين كونها جهاز جولجي داخل الخلية على هيئة ليسوسومات.

جهاز جولجي هو أيضا الموقع الذي يتم فيه تخليق عديدات التسكر مثل المخاط. والسيليلوز الذي تفرزه الخلايا النباتية لتكوين جدار الخلية يتم تخليقه داخل جهاز جولجي.

## LYSOSOMES

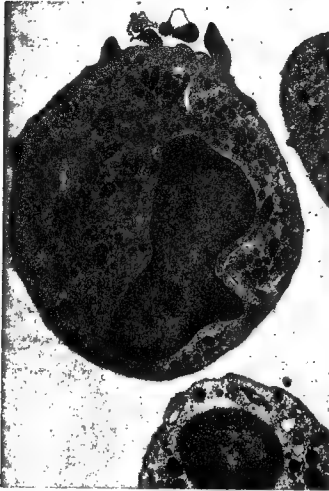
### ١٠-٥. الليسوسومات

الليسوسومات هي تراكيب كروية تقريبا يحدها غشاء مفرد ويبلغ قطرها عادة ١,٥ ميكرون إلا أنه شوهدت ليسوسومات يبلغ قطرها ٠,٥ ميكرون فقط. الليسوسومات ينتجها جهاز جولجي وهي مملئة بالبروتينات وهذه تتكون من حوالي ٣٦ نوع من انزيمات التميؤ، من بينها الأنزيمات التي تهضم عديدات التسكر والليبيدات والفوسفوليبيدات والاحماض النووية والبروتينات. ويعتقد أن وجود هذه الانزيمات داخل الليسوسومات يمنعها من هضم بقية أجزاء الخلية.

عندما توجد في الخلية مواد مطلوب هضمها فإنها تدخل أولا في الليسوسومات. هذه المواد قد تكون بعض تراكيب الخلية نفسها مثل الميتوكوندريا التي توقفت عن العمل بكفاءة أو دقائق الغذاء التي قد تدخل إلى الخلية. في حالة خلية الدم البيضاء المبنية في الشكل (١٦-٥) فإن هذه المواد كانت بكتريا ودقائق أخرى ضارة إلتهمتها الخلية.

تلعب الليسوسومات دورا هاما أيضا في موت الخلايا، فعندما تموت الخلية أو يحدث بها جرح تساعد الليسوسومات في تحللها وفي ذلك إفراح للمجال أمام خلية لتحل محلها. وموت الخلايا يمثل مرحلة ضرورية في دورة حياة بعض الكائنات. فمثلا عندما يتحول أبو ذئبة إلى ضفدعة فإن ذيله يمتص تدريجيا. خلايا الذيل - وهي غنية بالليسوسومات - تموت وتستغل نواتج تحللها في نمو خلايا جديدة في جسم الضفدعة النامية.

توجد الليسوسومات في جميع أنواع الخلايا الحيوانية تقريبا ولكن لا يوجد حتى الان دليل قاطع على وجودها في خلايا النباتات.



الشكل ١٦-٥. إحدى خلايا الدم البيضاء. الأجسام الصغيرة الداكنة في السيتوبلازم هي الليسوسومات (٧٥٠٠ مرة - من فلوست: الخلية: عضياتها ومحتوياتها - و. ب. سوندرز وشركاه - ١٩٦٦).

#### ١١-٥. البيروكسيسومات

#### PEROXISOMES

للبيروكسيسومات نفس حجم الليسوسومات تقريبا (٣، ١٥-٠ ميكرون) ومثلها تكون محددة بقشاة مفرد. كذلك تشبه الليسوسومات في احتوائها على إنزيمات يكون الكاتاليز catalase من أبرزها. يحفز الكاتاليز تكسير فوق أكسيد الهيدروجين - hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) وهو ناتج خطر من نواتج الأيض في الخلية. قد تلعب البيروكسيسومات دورا أيضا في تحويل الدهون إلى كربوهيدرات وفي تكسير البيورينات داخل الخلية. وقد الحقت وظائف أيضا أخرى بالبيروكسيسومات في أنسجة أو كائنات معينة ولكن باستثناء نشاطات الكاتاليز ليس من بينها وظيفة واحدة مشتركة في جميع البيروكسيسومات.

في الحيوانات يكون وجود البيروكسيسومات مقصوراً على خلايا الكبد والكلية. أما في النباتات فإنها قد توجد في عدة أنواع من الخلايا. وغالباً ما تحتوي البيروكسيسومات في الخلايا النباتية مادة متبلورة. ومن المحتمل أن تكون البيروكسيسومات في الخلايا النباتية والحيوانية ناتجة من الشبكة الاندوبلازمية.

## VACUOLES

### ١٢-٥. الفجوات

الفجوات هي عضيات سيتوبلازمية ممتلئة بسائل ويحدها غشاء مماثل لغشاء الخلية. وفي الواقع فإن الفجوات غالباً ما تنشأ عن طريق ثنيات للدخل ثم فصم جزء من غشاء الخلية وقد توجد مواد غذائية أو مخلفات داخل الفجوات.

تحتوي الخلية النباتية الحديثة على العديد من الفجوات الصغيرة ولكن كلما فضجت الخلية فإن هذه الفجوات تتحد مع بعضها لتكوين فجوة مركزية central vacuole كبيرة (الشكل ٥-١٣) قد توجد بها مواد غذائية ذائبة أو مخلفات أو أصباغ.

### ١٣-٥. وظائف الأغشية داخل الخلية

## THE FUNCTIONS OF INTRACELLULAR MEMBRANES

معظم تراكيب الخلية التي نوقشت حتى الآن لها أغشية كجزء من تركيبها. وعموماً يبدو أن هذه الأغشية وظيفتان أساسيتان إحداهما هي ببساطة تكوين غرف داخل الخلية. فالكروموسومات التي تحمل الشفرة الوراثية تكون معزولة عن بقية الخلية بواسطة الغشاء النووي. والانسيازات الهاضمة الموجودة في الليسوسومات تُمنع من الاتصال بالسيتوسول بواسطة الأغشية التي تحدها والنواتج الإفرازية للخلايا تظل معزولة في قنوات الشبكة الاندوبلازمية وجهاز جولجي.

الدور الهام الثاني الذي تلعبه الأغشية في الخلية هو نقل المواد في اتجاه واحد. فأغشية RER تنقل جزيئات البروتين من سطح الغشاء المواجه للسيتوسول إلى داخل الـ SER (الفراغ). تنقل الأغشية السدائية للميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء أيونات الهيدروجين ( $H^+$ ) في اتجاه واحد : إلى داخل الميتوكوندريا وإلى داخل البلاستيدات الخضراء. كذلك ينتقل عدد من الأيونات والجزيئات الأخرى في اتجاه واحد

عبر الأغشية المختلفة للخلية. وكل ذلك يدلنا على أن أغشية الخلية ليست متناهلة فالجزئيات المعرضة على أحد سطحي الغشاء تختلف عن تلك المعرضة على سطحه الآخر.

#### MICROFILAMENTS

#### ١٤-٥ الخيوط الدقيقة

الخيوط الدقيقة هي ألياف رفيعة طويلة يبلغ قطرها ٥-٦ نانومتر. تتكون هذه الألياف من بروتين يسمى أكتين actin. أعداد كبيرة من هذه الخيوط الدقيقة تكون مجموعات أو شبكات في أماكن مختلفة من الخلية (الشكل ٥-١٠) ويرتبط وجودها بحركة الخلية. فمثلا عندما تنقسم خلية حيوانية إلى اثنتين تتكون حزمة من الألياف الدقيقة تشق الخليتين البنويتين بعيدا عن بعضهما.

في كثير من الخلايا يتحرك السيتوبلازم وهذه ظاهرة تسمى سريان السيتوبلازم cytoplasmic streaming وهذه الحركة تعتمد على وجود الخيوط الدقيقة. والخيوط الدقيقة هي سمة أساسية من سمات الخلايا التي تهاجر من مكان إلى آخر والتي تغير شكلها. لاينطبق ذلك فقط على الخلايا المستقلة حرة الحركة مثل الأميبا ولكن أيضا على معظم الخلايا الحيوانية خلال مراحل تكوين الجنين. وإنقسام الأجزاء المنشئة للداخل من غشاء الخلية (راجع القسم ٥-١٢) يعتمد كذلك على قدرة الخيوط الدقيقة على الانقباض.

#### INTERMEDIATE FILAMENTS

#### ١٥-٥ الخيوط المتوسطة

الخيوط المتوسطة هي ألياف سيتوبلازمية طويلة يبلغ متوسط قطرها ١٠ نانومتر وهي تسمى متوسطة لأن قطرها أكبر من قطر الخيوط الدقيقة (٦ نانومتر) وأصغر من قطر الأنابيب الدقيقة (٢٥ نانومتر) والخيوط الغليظة (١٥ نانومتر) في ألياف العضلات الهيكلية. (خصائص الخيوط الغليظة سوف ندرسها في الباب ٣٠). أمكن التعرف على خمسة أنواع من الخيوط المتوسطة وكل منها يتكون من واحد أو أكثر من البروتينات التي ينفرد بها كل نوع. وعلى الرغم من التباين الكيميائي فإنه يبدو أن كل الخيوط المتوسطة تلعب دورا هاما متشابها في الخلية وهو تكوين هيكل دعامي داخل الخلية. فعلى سبيل المثال فإن النواة في الخلايا الطلائية (و كذلك خلايا الجلد) تكون مثبتة في موضعها



الشكل ١٧-٥. الخيوط المتوسطة في خليتين طلايتين كما تكشفها أصباغ متألقة. على الرغم من عدم صبغ أي تراكيب خلوية أخرى مباشرة. لاحظ الترتيب الذي يشبه السلة حول كل نواة. (بتصريح من ماري أوزبورن و. فرانك وك. وير. البحوث التجريبية للخلية المجلد ١٢٥ ص ٣٧ - ١٩٨٠).

بواسطة شبكة تشبه السلة من الخيوط المتوسطة (الشكل ١٧-٥) وهي تتكون من الكبريتين (راجع القسم ٤-٤).

توجد الخيوط المتوسطة في جميع أنواع الخلايا العضلية حيث تعمل على تثبيت الأجزاء المنقبضة في الخلية في مواضع محددة. للخلايا العصبية إمتدادات طويلة تسمى

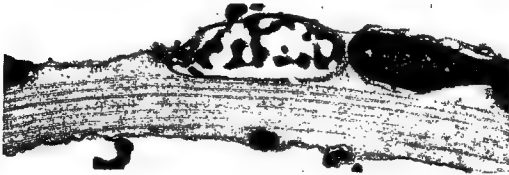


المحاور أو الأعصاب axons تسافر خلالها النبضات العصبية. يبلغ طول المحاور في بعض الخلايا العصبية أكثر من مليون ضعف سمكها وعلى الرغم من هذا الشكل الضعيف إلا أن هذه المحاور لا تنقطع بسهولة بفضل القوة التي تكتسبها من الخيوط المتوسطة التي يمتلئ بها السيتوبلازم فيها.

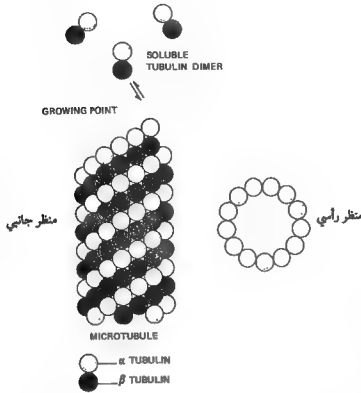
## ١٦-٥ . الأنابيب الدقيقة MICROTUBULES

الأنابيب الدقيقة هي أسطوانات مجوفة مستقيمة من البروتين توجد في أغلب الخلايا الحيوانية والنباتية (الشكل ١٨-٥). قطرها الخارجي يبلغ ٢٥ نانومتر وقطر التجويف حوالي ١٥ نانومتر. أما طولها فمتغير ولكن هناك أنابيب دقيقة يبلغ طولها حوالي ألف ضعف سمكها (أي حوالي ٢٥ ميكرون).

البروتين الذي تتركب منه الأنابيب الدقيقة يسمى توبيولين tubulin ويوجد منه نوعان (الفا توبيولين  $\alpha$ -tubulin وبيتا توبيولين  $\beta$ -tubulin) وكلاهما له نفس الحجم تقريبا حيث يبلغ الوزن الجزيئي لكل منهما ٥٥٠٠٠ دالتون تقريبا. يتصل جزيئان واحد من كل نوع مع بعضهما (لاتساهما) لتكوين مزدوج dimer. هذا المزدوج (وهو مثال للتركيب الرباعي للبروتين - راجع القسم ٤-٤) هو حجر البناء الذي تتكون منه الأنابيب الدقيقة. ويبدو أن بناء جدار الأسطوانة يتم بأضافة المزدوجات واحداً بعد



الشكل ١٨-٥. تجمع متوازي من الأنابيب الدقيقة في القدم المحورية لأحد الحيوانات الأولية التي تعيش في المياة العذبة. الأقدام المحورية هي امتدادات دقيقة للسيتوبلازم والأنابيب الدقيقة ضرورية للمحافظة على شكلها. يمكن مشاهدة مناظر أخرى للأقدام المحورية في الأشكال ٣٧-٤ و ٣٧-٥. (يتصريح من لويس ج. تيلي بجامعة بنسلفانيا).

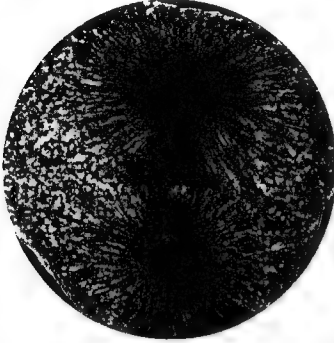


الشكل ١٩-٥. تجميع أنبوبة دقيقة من مزدوجات ألفا وبيتا توبيولين إضافة ١٣ مزدوج تمدد الأنبوبة الدقيقة بمقدار لفة واحدة.

الأخر في ترتيب حلزوني رقيق (الشكل ١٩-٥). إضافة ١٣ مزدوج تتمم لفة كاملة. وعند مشاهدة الجدار في قطاع عرضي فإنه يبدو مكون من ١٣ خيط أولى protofilament

ويبدو أن الأنابيب الدقيقة تكون صلبة ويعتقد أنها تكسب أجزاء الخلية التي توجد بها بعض الصلابة وبذلك تسهم الأنابيب الدقيقة مع الخيوط الدقيقة والخيوط المتوسطة في بناء تركيب السيتوبلازم. وعند إزالة جميع محتويات الخلية ماعدا هذه العناصر الليفية الثلاث فإن الشكل الأساسي للخلية يبقى كما هو. ومن الواضح أن سيتوبلازم الخلية ليس قطرة بسيطة من سائل وإنما هو نظام محكم التنسيق من الخيوط الدقيقة والخيوط المتوسطة والأنابيب الدقيقة المترابطة.

تلاعب الأنابيب الدقيقة أيضا دورا هاما في إنقسام الخلية. فالانقسام الناجح يتطلب التوزيع الدقيق للكروموسومات على الخلايا البنوية حيث يتحرك كل كروموسوم نحو مقره النهائي نتيجة إتصاله بحزمة من الأنابيب الدقيقة. وتعرف المجموعة الكاملة من الأنابيب الدقيقة المشاركة في هذه العملية باسم المغزل spindle (الشكل ٥ - ٢٠).



الشكل ٢٠-٥ . الانقسام غير المباشر في خلية من جنين السمك الأبيض. تحركت الكروموسومات الى مركز الخلية حيث كونت كتلة داكنة ثم اتصلت بالمغزل وهو تجمع من الألياف يمتد بين قطبي الخلية. حول كل قطب يوجد جهاز من الألياف في نظام شعاعي يعرف بالنجم aster وكلا من المغزل والنجم يتركب من أنابيب دقيقة. (بتصريح من تيرنوكس).

كذلك تستعمل الأنابيب الدقيقة في بناء السنتريولات (أو الأجسام المركزية) والأجسام القاعدية والأهداب والأسواط.

#### CENTRIOLES

#### ١٧-٥ . السنتريولات

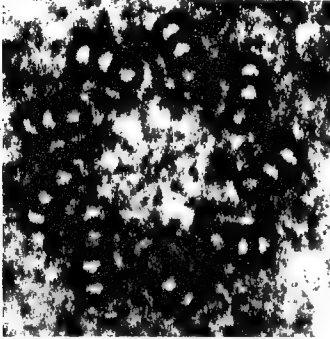
تحتوي الخلايا الحيوانية وخلايا بعض الكائنات الدقيقة والنباتات الدنيئة على جسمين مركزيين في السيتوبلازم بالقرب من السطح الخارجي للنواة. يتكون كل جسم مركزي من تجمع أسطواني لتسع أنابيب دقيقة ويتصل بكل واحدة من الأنابيب الدقيقة التسع أنبوبتان جزئيتان (كما ترى في المقطع العرضي) (الشكل ٢١-٥). وعادة ما يشكل الجسمان المركزيان زاوية قائمة.

وقبل بدء انقسام الخلية مباشرة يتضاعف السنتريولان ويهاجر كل زوج نحو جانب مقابل من جانبي النواة ثم ينشأ المغزل بينهما. في بعض الخلايا تتضاعف الأجسام المركزية لتنتج الأجسام القاعدية للأهداب والأسواط.

#### CILIA AND FLAGELLA

#### ١٨-٥ . الأهداب والأسواط

لمعظم الخلايا إمتدادات قد تكون قصيرة (أهداب cilia) أو طويلة

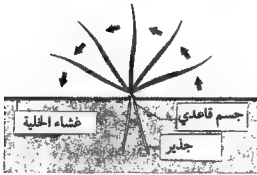


الشكل ٥-٢١. الجسم المركزي في خلية من جنين الفأر كما يرى في مقطع عرضي عند تكبير ٣٠٥٠٠٠ مرة (بتصريح من أي. ديهارفن - معهد سلون كترنج لأبحاث السرطان. مأخوذة عن : النواة - أكاديميك برس - نيويورك - لندن - ١٩٨٦).

(أسواط flagella) في الكائنات الدقيقة تستعمل الأهداب والأسواط للحركة. ومع ذلك فالكثير من الحيوانات بها خلايا ذات أهداب تكون وظيفتها ببساطة إبعاد المواد عن الخلايا. الخلايا المبطنه للقصبه الهوائية ذات أهداب.

ويبدو أن منشأ وتركيب الأهداب والأسواط واحد. ففي كلتا الحالتين تنمو من أجسام قاعدية basal bodies. وهذه لها نفس تركيب الأجسام المركزية وتنشأ منها. والهدب cilium أو السوط flagellum نفسه ليس له حلقة خارجية من تسع أنابيب دقيقة فقط (كل منها له الآن أنبوية مساعدة واحدة متصلة بها) ولكن له أيضا ليفتان مركبتان تشبهان الأنابيب الدقيقة في التركيب تماما (الشكل ٥-٢٢). وفي حالة الأهداب والأسواط يكون النظم كله مغلفا بغشاء هو ببساطة إمتداد لغشاء الخلية.

ترجع أوجه الشبه بين تركيب الأهداب والأسواط والأجسام القاعدية والسنترولات وتركيب الأنابيب الدقيقة أننا بصدد أحد المكونات البنائية الأساسية للخلية. فتجمع مزدوجات التيوبوليس في صورة أنابيب دقيقة يتطلب شكلا من أشكال المواقع البادة أو القالب template. والمرشح المنطقي لهذه الوظيفة هو السنترولات - أو الأجسام القاعدية المشتقة من السنترولات. وبينما يظل العديد من الأسئلة حول وظيفة



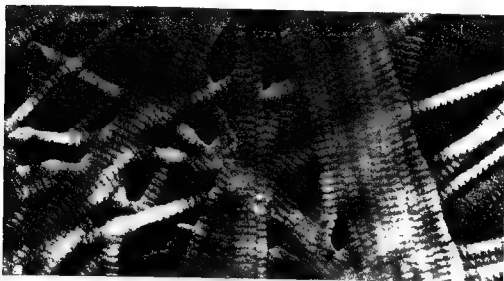
الشكل ٥-٧٢. الى أعلى  
: صورة بالمجهر الاليكتروني  
لهذب مفرد في مقطع  
عرضي. لاحظ النمط المميز  
للأنابيب الدقيقة (يصريح  
من بيتر ساتين). الى أسفل:  
رسم لهذب مفرد. الرسم  
المعوي يوضح ضربة القوة  
والرسم السفلي يوضح ضربة  
الارتداد.

الانابيب الدقيقة بدون إجابة فان فهم الطريقة التي يقود بها تركيب جزيئات كبيرة بعينها  
(الفا وبيتا تيوبولين) نحو تركيب العضيات المختلفة المكونة من أنابيب دقيقة قريب  
المنال.

## CELL COATINGS

## ١٩-٥. طلاءات الخلية

نادرا ما يكون غشاء الخلية هو السطح الخارجي للخلية وعادة يكون هناك نوع من  
الطلاء الخارجي. في الخلايا الحيوانية يبدو أن هذا الطلاء مكون من مركب معقد من  
البروتين وعديد السكر. وهو ليس بصلب ولكنه يعمل على لصق الخلايا ببعضها



الشكل ٥-٢٣. خيوط من الكولاجين وهو بروتين (تكبير ٢٢٠٠٠ مرة). (بتصريح من د. جيروم جروس).

البعض. في الشكل (٥-٢) يكون ذلك مثلاً بخط رفيع بين غشائي الخليتين. وفي حالات عديدة يكون أكثر سمكاً عما هو واضح في هذا الشكل وغالباً ما تكون خيوط البروتين كولاجين collagen (الشكل ٥-٢٣) منغمسة في الطلاء السميك.

في كثير من الطحالب وكل النباتات يتكون الطلاء الخارجي من عديد التسكر السيليلوز وهو يكون جدار الخلية cell wall الذي يكون صلباً وعلى هيئة صندوق وهو من أهم مميزات هذه الخلايا. في الشكل (٥-١٣) يشاهد بوضوح جدار الخلية الذي يحيط بكل واحدة من خلايا دوائر الشمس.

إذا نظرت إلى الشكل (٤-١٥) فسوف ترى النسق المنظم الذي تترسب به ليفات السيليلوز لتكوين جدار الخلية. وعلى حين يبقى النسق الدقيق الذي تنتظم به جزئيات السيليلوز لتكوين ليفات محل شك فإن الطبيعة الخطية للجزئيات والفرص العديدة لتكوين روابط هيدروجينية جانبية هي بالضبط ما يتغية المرء لتكوين ليفات طويلة صلبة.

توجد الحدر الصلبة أيضاً حول خلايا البكتريا والفطريات ولكن تستعمل في بنائها عديدات تسكر أخرى غير السيليلوز.

## ٥-٢٠. بدائيات النواة وحقيقات النواة

## PROKARYOTES VERSUS EUKARYOTES

بينما لا تحتوي جميع الخلايا على جميع التراكيب التي وصفت في هذا الباب فإن معظم هذه التراكيب تكون شائعة الوجود في خلايا الحيوانات والنباتات وحتى في أغلب الأحياء الدقيقة . ومع ذلك فهناك مجموعتان من الأحياء الدقيقة - البكتيريا والطحالب الخضراء المزرق - تكون الخلايا فيها مختلفة عن خلايا بقية الكائنات من عدة نواحي هامة . فخلاياها لا تحتوي على أنوية يحدها غشاء وليس فيها ميتوكوندريا ولا بلاستيدات خضراء ولا شبكة إندوبلازمية ولا أجهزة جولجي ولا ليسوسومات ولا بروتوسومات ولا فجوات وباختصار لا توجد فيها عضيات تحدها أغشية ولو أنه قد توجد بها طبقات من أغشية داخلية (الشكل ٥-٢٤) . وعلى الرغم من أن بعض البكتيريا يكون لها أسواط إلا أن هذه تتكون ببساطة من خيوط مفردة ولا يتمثل بها الترتيب متعدد الخيوط من ٩ + ٢ الذي نجده في أسواط وأهداب الكائنات الأخرى . ويستعمل اللفظ بدائية النواة prokaryotic لتمييز خلايا البكتيريا والطحالب الخضراء المزرق عن الخلايا حقيقية النواة eukaryotic لجميع الكائنات الأخرى .



الشكل ٥-٢٤.

صورة بالمجهر  
الالكتروني (٢٧٠٠٠ مرة)  
لطحلب أخضر مزرقي . على  
الرغم من وجود أغشية  
داخلية في هذا الكائن بدائي  
النواة إلا أنها ليست منتظمة  
في عضيات محاطة بأغشية كما  
هو الحال في الكائنات حقيقية  
النواة .

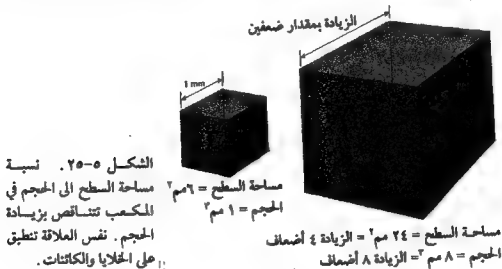
(بتصریح من د. ج. كوهين بازي).

## DIFFERENTIATION

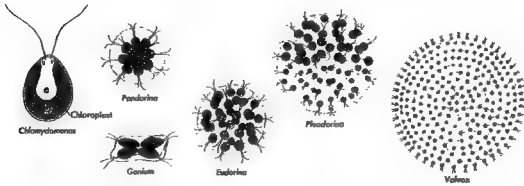
## ٢١-٥ . التشكل (أو التكشف)

رأينا أن الكائنات الحية تتكون من خلية واحدة أو أكثر. الطحلب الأخضر المجهرى كلاميدوموناس *Chlamydomonas* كائن وحيد الخلية وفي داخل هذه الخلية توجد كل المعدات اللازمة لممارسة الوظائف الحيوية المختلفة. ومن حين إلى آخر ينقسم الكلاميدوموناس لتكوين فردين بعد أن كان فردا واحدا. وتتلقى كل خلية بنوية مجموعة كاملة من الضوابط النووية الموجودة في الخلية الأم. وقبل البدء الفعلي لانقسام الخلية يتضاعف كل كروموسوم في النواة وأثناء عملية إنقسام الخلية تنفصل الكروموسومات المتضاعفة وتهاجر مجموعة كاملة إلى كل من الخليتين البنويتين بدقة بالغة. الانقسام غير المباشر mitosis هو اللفظ الذي يستعمل لوصف هذه العملية الهامة وهي الآلية التي تتكاثر بها الكائنات وحيدة الخلية كما أنها تمثل آلية للنمو في الكائنات عديدة الخلايا. وفي كلتا الحالتين فهي تمثل مهربا من النمو الزائد أو التضخم في الخلايا المفردة. فعادة ما تؤدي الخلايا الصغيرة عملها بكفاءة أكبر من الخلايا الكبيرة وأحد أسباب ذلك أن نسبة مساحة السطح إلى الحجم في الخلايا الصغيرة تكون أعلى منها في الخلايا الكبيرة (الشكل ٢٥-٥) ولذلك يكون تبادل المواد بين السيتوبلازم والوسط الخارجي المحيط بالخلية أسرع.

من بين الطحالب الخضراء ذوى الاسواط توجد عدة أشكال من المستعمرات (الشكل ٢٦-٥). هذه الأنواع تسمى مستعمرات لأنها تتكون من تجمعات من خلايا مستقلة







الشكل ٥-٢٦. مجموعة من الطحالب الخضراء الأسواط التي تتشابه خلاياها والتي تتمثل فيها الأنماط وحيدة الخلية والمستعمرات وعديدة الخلايا. الخلايا الصغيرة في البليودورينا ومعظم الخلايا في الفولفوكس غير قادرة على التكاثر. مقياس الرسم يتناقص من اليسار إلى اليمين.

فإذا عزلت خلية مفردة من جونيوم *Gonium* أو باندورينا *Pandorina* أو يودورينا *Eudorina* فأنها سوف تسبح بعيدا وتشبه خلية الكلاميدوموناس. وحينما يحدث بها الانقسام غير المباشر فأنها سوف تكون مستعمرة بها نفس العدد المميز من الخلايا. أما في البليودورينا *Pleodorina* والفولفوكس *Volvox* فإن الموقف يختلف بعض الشيء. في هاتين الحاليتين فإن بعض خلايا المستعمرة (معظم الخلايا في الفولفوكس) لا تستطيع أن تعيش مستقلة. فإذا عزلت خلية لاتكاثرية من مستعمرة فولفوكس فأنها لاتتكاثر بالإنقسام غير المباشر وفي النهاية تموت. ماذا حدث؟ بطريقة غير واضحة حتى الآن عبر الفولفوكس الخط الفاصل بين الكائنات ذات المستعمرات والكائنات عديدة الخلايا الحقيقية. فعلى خلاف الجونيوم لا يمكن اعتبار الفولفوكس مستعمرة أو تجمع لعدد من الخلايا الفردية. فهو كائن واحد فقدت خلاياه القدرة على أن تعيش كل منها مستقلة. فإذا تحطم عدد كاف منها لسبب من الأسباب فإن بقية كرة الخلايا سوف تموت. ماذا إستفاد الفولفوكس من هذا الترتيب؟ بفقدانها القدرة على الاستقلال فإن خلايا الفولفوكس أصبحت متخصصة ولم تعد كل خلية تقوم بجميع وظائف الحياة (كما في المستعمرات) وبدلا من ذلك فقد تخصصت خلايا معينة في أداء وظائف معينة تاركة الوظائف الأخرى لخلايا أخرى متخصصة في أدائها. وفي الفولفوكس لاتعدو هذه العملية أبعد من تخصص بعض الخلايا في التكاثر بينما البقية (التي لا تستطيع التكاثر بنفسها) تسد إحتياجات البناء الضوئي والحركة. في الكائنات عديدة الخلايا الأكثر

تعميدا (مثلنا) فإن درجة التخصص تزيد عن ذلك بكثير حيث يكون لكل خلية وظيفة أو إثنان وتعتمد على بقية الخلايا لأداء كل الوظائف الأخرى اللازمة للبقاء على حياة الكائن وبالتالي حياته. هذه العملية من تخصيص وتوزيع للعمل بين الخلايا تسمى التشكل (أو التكشف) differentiation. واحدة من أعظم مشاكل علم الأحياء هي كيف ينشأ التشكل بين الخلايا مع أنها جميعا نشأت عن طريق الانقسام غير المباشر ولها نفس الضوابط النووية. سوف نناقش بعض الاجابات المبدئية لهذا التساؤل في الباب ١٨.

لا يمكن أن نتأكد أن الجنين والبلوغ واليودورينا والبيودورينا تمثل مراحل في تطور الفولفوكس عديد الخلايا من الكلاميدوموناس وحيد الخلية. وسواء كانت كذلك أم لا فإن هذه الكائنات تبين أحد الطرق التي تكون المستعمرات قد نشأت بها من كائنات وحيدة الخلية وكذلك التي قد تكون الكائنات عديدة الخلايا قد نشأت بها من مستعمرات. وهي تبين أيضا التغير الطفيف في علاقات الخلايا حينها تعبر الخط الوهمي الذي يفصل بين مستعمرات من خلايا مستقلة إلى كائنات تتركب من عديد من الخلايا المتشكلة والمعتمدة على بعضها البعض.

تشكل الخلايا في الكائنات عديدة الخلايا بعدد كبير ولكنه محدود من الطرق. في الحيوان البشري مثلا قد يوجد حوالي ١٠٠ نوع من الخلايا المتشكلة وكل نوع متميز تركيبيا عن بقية الأنواع. خلايا الدم الحمراء تكون على هيئة أقراص ضئيلة بدون نواة وخلايا العضلة الملساء تكون مغزلية الشكل وهكذا. وكل نوع من الخلايا له وظيفته الخاصة فخلايا الدم الحمراء تنقل الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون وخلايا العضلة الملساء تنقبض فتعمل على إنقاص قطر الأعضاء الجوفاء مثل المثانة والأوعية الدموية وفي النهاية فإن العديد من أنواع الخلايا يتميز بوجود بروتين أو بروتينات معينة، فخلايا الدم الحمراء محشوة بالهيموجلوبين وخلايا العضلة الملساء تحتوي على البروتينات المنقبضة أكتين وميوسين.

من أين أتت كل هذه الخلايا ؟ الأجابة واحدة بالنسبة لهم جميعا فهم سلالة البضة المخضبة التي بدأنا جميعا منها. فنمو بيضة مخضبة إلى طفل يتطلب متوسطا قدرة ٤١ دورة إنقسام غير مباشر ( $2^{41} = 2 \times 10^{12}$ ) ولكنها تتطلب ما هو أكثر من ذلك. فالخلايا البنوية الناتجة من هذه الانقسامات لابد لها من الدخول في سبل متباينة للنمو

بحيث يصبح بعضها خلايا دم حمراء وبعضها بيضات والبعض الآخر خلايا عضلة لمساء وهكذا. هذه هي عملية التشكل أو التكشف.

في حالات عديدة يحدث التشكل مرة واحدة وفي المراحل المبكرة للنمو. فمثلا قد لا يحدث المزيد من التشكل في الخلايا العصبية بعد مرحلة الطفولة. وفي حالات أخرى يستمر التشكل طول الحياة. فالأنواع المختلفة من خلايا الدم تستبدل دائما طول العمر وهناك دليل قوي أنهم جميعا (خلايا حمراء وكرات الدم البيضاء و . . . الخ) ينشأون من خلية أصلية واحدة تسمى خلية الأصل stem cell. الأنقسام غير المباشرة لهذه الخلايا (التي توجد في نخاع العظم) ينتج خلايا بنوية عليها أن تواجه أحد خيارين فبعضها يظل خلايا وبذلك تضمن أن بحيرة الخلايا لن تنضب والبعض الآخر عليه أن يسلك واحدا أو آخر من سبل التشكل. وكلما توغلوا في هذه السبل فإنهم يكتسبون تدريجيا التركيب والوظيفة والبروتينات المميزة لنوع الخلايا الذي يصيرون إليه في النهاية.

## ANIMAL TISSUES

### ٥-٢٢. الأنسجة الحيوانية

تنظم الخلايا المختلفة في الحيوانات إلى أنسجة، فيما يلي أنواع الأنسجة الموجودة في الحيوانات الفقارية (الشكل ٥-٢٧):

## EPITHELIAL

### ١- النسيج الطلائي

تتكون الأنسجة الطلائية من خلايا متراسة بجوار بعضها البعض ومرتبّة في طبقات مفلطحة. وتبطن هذه الأنسجة الفراغات والأنابيب المختلفة في الجسم، كما أنها تكون الجلد الذي يغطي الجسم.

يقوم النسيج الطلائي بوظائف عديدة، في تلك الوظائف يوجد النسيج الطلائي دائما بين الكتلة الخلوية والفراغات والتجاويف. ويحمي النسيج الطلائي للجلد الأنسجة الموجودة تحته من التآكلات الميكانيكية والأشعة فوق البنفسجية والجفاف والغزو البكتيري.

ويعمل النسيج الطلائي كذلك في نقل المواد من وإلى الأنسجة الأخرى وإلى



النسيج الطلائي كذلك القنوات الهوائية وفراغات الرئة، يفرز هذا النسيج مواداً مغطاة ليحفظ نفسه من الجفاف ولإصطياد ذرات التراب التي إستنشقتها الحيوان. وكثير من خلايا تلك الأنابيب الهوائية تحمل أهداب على جهتها الحرة وتدفع تلك الأهداب المخاط وما يحمله من المواد الغريبة إلى الخلف لأعلى الحلق. ولابد للخلايا الجنسية من الخروج من الجسم لأداء عملية التكاثر الجنسي، تنشأ تلك الخلايا الجنسية كذلك من نسيج طلائي ماهو إلا النسيج الطلائي التكاثري.

## ٢- النسيج الضام: CONNECTIVE

يوجد الكثير من أنواع النسيج الضام في جسم الانسان، وكل من هذه الأنسجة الضامة تتكون من خلايا منغمسة في مادة غير خلوية تسمى ماتركس Matrix وهي تفرز بواسطة الخلايا الضامة نفسها. والنسيج الضام الدعامي (Supporting) يعطي القوة والدعم ويحمي الأجزاء اللينة في الجسم. وتمثل الغضاريف Cartilages والعظام Bones المكونات الرئيسيان لهذا النسيج الضام في الإنسان. والمادة البينية في الغضروف هي مزيج من البروتين وعديدات السكر يطلق عليها اسم الكوندرين (Chondrin) وتأخذ الأذن الخارجية شكلها المعروف بسبب النسيج الضام الغضروفي. والنسيج البيني ( الغير خلوي ) في العظام يتكون من ألياف مكونة من كولاجين وبروتين ورواسب معدنية المكون الأساسي فيها هو فوسفات الكالسيوم ومعها أيونات المغنسيوم والكاربونات والفلوريدات.

ويعمل النسيج الطلائي الرابط Binding، كما هو واضح من اسمه، على ربط أجزاء الجسم ببعضها البعض. فالأوتار (Tendons) توصل العضلات بالعظام، المادة البينية في الأوتار بروتين كولاجيني وتنغمس فيها الألياف متوازية مع بعضها البعض. والأوتار هذه غير مطاطة. وتوجد روابط Ligaments تصل العظام بعضها ببعض، بجانب وجود الألياف الكولاجينية في تلك الروابط يوجد بها كذلك مادة إلامتين البروتين (Protein elastin).

والنسيج الضام الليفي (Fibrous) يوجد موزعاً على جميع أجزاء الجسم، يعمل على ضم أو ربط المواد التي تتكون منها أعضاؤنا المختلفة، يزودنا بممرات للأوعية الدموية والأعصاب لأمكانية الوصول إليها. وتوجد مادة الكولاجين وبروتينات أخرى

في المادة البينية Matrix لهذا النسيج الضام الليفي . ويوجد نسيج ضام ليفي آخر يسمى فاسكيا (Fascia) يربط العضلات ببعضها البعض ويحكم إتصال الجلد بالأنسجة الموجودة أسفله . والنسيج الدهني (Adipose tissue) هو نسيج ضام وفيه إمتلات الخلايا عن آخرها تقريبا بالزيت .

ويوجد نسيج ضام دموي Hematopoietic وهو منشأ جميع الخلايا الموجودة بالدم مثل خلايا الدم الحمراء وخمسة أنواع من خلايا الدم البيضاء والصفائح الدموية . وتنقل خلايا الدم الحمراء الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون في الدم . وتدافع خلايا الدم البيضاء عن الجسم ضد أي دخيل غريب (مثل الأصابات البكتيرية) . وتشجع الصفائح الدموية على تجلط الدم . ويعتبر نخاع العظام من النسيج الضام الدموي (Hematopoietic) وفيه تنتج جميع الخلايا الدموية . وهناك نوعان من الخلايا الدموية البيضاء (الليمفوسايتس أو الخلايا الليمفاوية Lymphocytes والمونوسايتس Monocytes) تنتج أيضا من العقد الليمفاوية والطحال والغدة التيموسية .

### ٣- العضل : MUSCLE

توجد ثلاثة أنواع من الأنسجة العضلية في الإنسان . العضل الهيكلية أو الارادي Skeletal وتتكون من ألياف طويلة والتي عند إنقباضها يتسبب عنها الحركة وكذلك جميع حركات الجسم الإرادية . والعضل الأملس أو اللاإرادي Smooth يغلف جدر أعضاء الجسم المجوفة مثل الأمعاء والأوعية الدموية ، وعند إنقباضها اللاإرادي تقلل من حجم أعضاء الجسم المجوفة . وعضلات القلب (Cardiac) هي التي يتكون منها القلب .

### ٤- العصبي : NERVOUS

يتكون النسيج العصبي أساسا من خلايا عصبية (Neurons) وهي خلايا متخصصة في نقل الإحساسات أو النبضات الكهروكيميائية . وتتكون كل خلية عصبية من جسم الخلية الذي يحتوي على النواة ، ويخرج من هذا الجسم زائدة (محور) أو أكثر شعيرية القوام ، وخلال تلك الزوائد التي قد يزيد طول بعضها عن عدة أقدام تنتقل الإحساسات العصبية . وتتقابل أطراف تلك الزوائد مع خلايا عصبية أخرى (شكل

٥-٢٧) أو مع أي نسيج آخر (كعضل مثلاً) يراد منه التأثير بالأحاساسات الخارجة من الخلية العصبية.

ويتكون المخ والحبل الشوكي أساساً في الإنسان من نسيج عصبي، وجميع أجسام الخلايا العصبية توجد في هذين العضوين. وتتجمع زوائد الخلايا العصبية في حزم مكونة الأعصاب (Nerves) التي تخرج من المخ والحبل الشوكي لتذهب إلى جميع أجزاء الجسم.

### ٥-٢٣. الأنسجة النباتية PLANT TISSUES

إذا فصحنّا جسم نبات وعائي بالغ لوجدنا عدة أنواع متميزة من الخلايا وهذه تتجمع مع بعضها في أنسجة وبعض هذه الأنسجة يتكون من نوع واحد من الخلايا والبعض الآخر يتكون من عدة أنواع.

#### ١- الإنشائية MERISTEMATIC

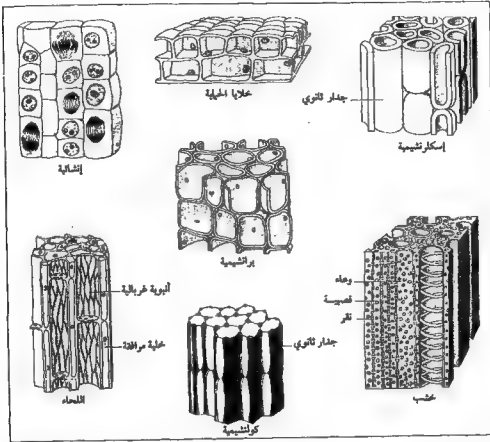
الوظيفة الأساسية للخلايا الإنشائية (أو المرستيمية) هي الانقسام غير المباشر (الشكل ٥-٢٨). الخلايا صغيرة رقيقة الجدر وبدون فجوة مركزية ولا تبدو عليها أية سمات تخصصية. وهي توجد في أنسجة (المرستيمات القمية apical meristems) عند القمم النامية للجزور والسوق. في بعض النباتات توجد حلقة من النسيج الأنشائي (الكامبيوم cambium) في الساق البالغة. والانقسام غير المباشر في الأنسجة الأنشائية ينتج خلايا جديدة لنمو النبات. والخلايا الناتجة من الأنسجة الأنشائية لاتلبث أن تتشكل إلى واحد أو أكثر من أنواع الخلايا.

#### ٢- أنسجة الحماية PROTECTIVE

خلايا أنسجة الحماية توجد عند أسطح الجذور والسوق والأوراق وهي خلايا مفلطحة يكون السطح والقاع فيها متوازيان بينما الجوانب غير منتظمة (الشكل ٥-٢٨) وتقدم هذه الخلايا الحماية للخلايا التي تقع أسفلها.

#### ٣- البرانشيمية PARENCHYMA

الخلايا البرانشيمية واسعة الانتشار في النباتات. وهي خلايا كبيرة رقيقة الجدر وعادة



الشكل ٥-٢٨. الأنسجة النباتية. كل نوع من الخلايا المتشكلة ينشأ من الخلايا التي تنتجها الأجزاء الانشائية. عدة خلايا إنشائية مبنية في حالة إنقسام غير مباشر.

ما يكون بها فجوة مركزية. وكثيرا ما تصبح منفصلة عن بعضها جزئيا وتمتلئ المسافات البينية الناتجة بالغازات. وهي غنية بالبلاستيدات وفي الأجزاء غير المعرضة للضوء تسود بلاستيدات عديمة اللون ويصبح تخزين الغذاء هو الوظيفة الأساسية. وخلايا البطاطس خلايا برانشيمية. وفي الأجزاء المعرضة للضوء مثل الأوراق تسود البلاستيدات الخضراء ويكون البناء الضوئي هو الوظيفة الأساسية.

#### COLLENCYMA

#### ٤- الكولنشيمية

للخلايا الكولنشيمية جدر غليظة بصفة خاصة عند الأركان (الشكل ٥-٢٨). وهذه الخلايا تدعم النبات وأكثر ما توجد في أجزاء النبات التي تنمو بسرعة وتحتاج الى تقوية وعادة ما يكون التدعيم في أعناق الأوراق بخلايا كولنشيمية.



## ٥- الأسكلرنشيمية

## SCLERENCHYMA

الخلايا الأسكلرنشيمية هي النوع الأكثر انتشارا من الخلايا التدعيمية وجدرها غليظة جدا وتكون على هيئة طبقة متجانسة تحيط تماما بحافة الخلية (الشكل ٥-٢٨) . وعادة ماتوجد الخلايا الأسكلرنشيمية بصحبة أنواع أخرى من الخلايا وتكسبهم التدعيم وفي حالات كثيرة يموت برتوبلاست الخلية الأسكلرنشيمية بعد إكمال تكوين الجدار. توجد الخلايا الأسكلرنشيمية في الساق وكذلك تكون مصاحبة لعروق الأوراق وهي المكون الوحيد للأغلفة الصلبة الخارجية للبدور والثمار البندقية nuts.

## ٦- الخشب

## XYLEM

الخشب هو نسيج مختلط mixed tissue يتكون من عدة أنواع من الخلايا وأكثر هذه الأنواع تميزا وأهمية هو أوعية الخشب xylem vessels والقصبيات tracheids (الخشب في السرخسيات والصنوبريات يحتوي فقط على القصبيات). لأوعية الخشب جدر مغلظة ولا تترتب الجدر في طبقة متجانسة ولكنها عادة ماتأخذ شكل الشرائط الحلزونية (الشكل ٥-٢٨) . وعندما يكتمل نمو الوعاء الخشبي تذوب الجدر الطرفية ويموت البروتوبلاست وينتج عن ذلك أنبوبة طويلة . وتختلف القصبيات عن الأوعية في أنها تفتقر الى الشرائط الحلزونية وتكون أطرافها مدببة وتتراكب الأطراف المدببة للقصبيات المرتبة رأسيا وتتصل ببعضها عن طريق العديد من النقر pits. وتستعمل الأوعية والقصبيات في نقل الماء والأملاح المعدنية من الجذور إلى الأوراق. في النباتات الخشبية يتوقف الخشب القديم عن المشاركة في عملية النقل ويعمل فقط على تدعيم جذع النبات النامي . وعندما يعد المرء الحلقات السنوية في شجرة فإنه يعد حلقات الخشب.

## ٧- اللحاء

## PHLOEM

اللحاء أيضا نسيج مختلط وأهم الخلايا فيه هي الأنابيب الغربالية sieve tubes وهي تسمى كذلك لأن الجدر الطرفية فيها تكون مثقبة (الشكل ٥-٢٨) مما يسمح بوجود إتصالات سيتوبلازمية بين الخلايا وهذا يساعد الخلايا على القيام بوظيفتها الرئيسية وهي نقل الغذاء والهورمونات إلى كل أجزاء النبات. وعند البلوغ لا تحتوي الأنابيب الغربالية على أنوية ولكن يوجد بجوارها خلايا مرافقة companion cells بها أنوية

وهذه تتولى الهيمنة العامة على خلايا الأنابيب الغربالية . وكثيرا ماتوجد خلايا إسكلرنشيمية في نسيج اللحاء وتكسبه قدرا من التدعيم .

تتنظم الأنسجة النباتية نفسها في أنماط محددة . مجموعات الأنسجة المنتظمة مع بعضها تكون أعضاء organs النبات . والجذور والسوق والأوراق هي الأعضاء الرئيسية في النباتات الراقية ويتوقف أداؤها الصحيح لوظائفها على التنظيم والتناسق السليم للأنسجة التي تتكون منها .

#### ٥-٢٤ . الاتصالات من خلية لخلية CELL-TO-CELL JUNCTIONS

في أنسجة كثيرة مثل الأنسجة الضامة يوجد طلاء خارج الخلية يفصل بين غشاء الخلية وأغشية الخلايا المجاورة لها في نفس النسيج . وفي أنسجة معينة مثل الطلائية المبطنة للأمعاء تكون أغشية الخلايا المتجاورة مضغوطة إلى بعضها البعض عند عدة نقاط ويوجد من هذه الاتصالات ثلاثة أنواع .

##### TIGHT JUNCTIONS

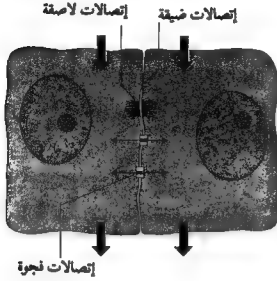
##### ١- إتصالات ضيقة

الاتصالات الضيقة تغلق الخلايا الطلائية المتجاورة في شريط ضيق تحت السطح المكشوف للخلايا مباشرة ويحتمل أن يكون لهذه الاتصالات أهمية فسيولوجية كبيرة لأنها تعمل كحاجز يمنع مرور الجزيئات والأيونات بسهولة في المسافات بين الخلايا . فحيثما توجد اتصالات ضيقة يكون لزاما على المواد أن تدخل فعلا الى الخلايا ثم تمر من خلالها اذا كان لها أن تمر من خلال النسيج (الشكل ٥-٢٩) . هذا الطريق يوفر بالتأكيد تحكم أكبر في المواد التي يسمح لها بالمرور عما اذا حدث انتشار بين الخلايا .

##### ADHERING JUNCTIONS

##### ٢- الاتصالات اللاصقة

كما بدل الاسم فان الاتصالات اللاصقة توفر تماسك آلي قوي بين الخلايا المتجاورة . بعض الاتصالات اللاصقة توجد على هيئة أشرطة ضيقة تصل ما بين خليتين والبعض الآخر (ديزومومات أو الأجسام الرابطة desmosomes) يوجد على هيئة حزم محددة تربط بين الخليتين .



الشكل ٥-٢٩. أنواع اتصالات الخلايا المميزة للطبقة الطلائية. الاتصالات اللاصقة توفر قوة التماسك للخلايا المتجاورة. الاتصالات الضيقة تمنع الجزيئات من الانتشار عبر المسافات البينية بين الخلايا الطلائية. اتصالات الفجوة تسمح للجزيئات الصغيرة والأيونات بالمرور بسهولة من خلية إلى أخرى.

## GAP JUNCTIONS

## ٣- اتصالات الفجوة

تعمل اتصالات الفجوة كممرات للاتصال بين الخلايا. ومعروف منذ مدة أن الأيونات (ومن ثم التيارات الكهربائية) والجزيئات (حتى وزن جزيئي حوالي ١٠٠٠ دالتون) تمر بسهولة من خلية إلى أخرى في أنسجة معينة ولكنها لا تمر بسهولة من هذه الخلايا إلى الخارج. وحديثاً درس تركيب اتصالات الفجوة كيميائياً وتحت المجهر الإلكتروني. تحتوي هذه الاتصالات على قنوات بين خلوية قطرها حوالي ٦, ٢١ نانومتر يمكن للأيونات والجزيئات الصغيرة أن تمر من خلالها بسهولة (في كلا الاتجاهين). والانتشار الواسع للاتصالات الفجوة يعطي دليلاً جديداً على أن الخلايا في الكائنات عديدة الخلايا ليست وحدات مستقلة ولكنها تكون قوالب البناء في نظام تعتمد أجزاؤه على بعضها البعض وهو النسيج.

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

الخلية هي الوحدة التركيبية الرئيسية التي تتكون منها الكائنات الحية. وبعض الكائنات تتكون من خلية واحدة والبعض يحتوي على العديد من الخلايا. وجميع الخلايا لها غشاء خلوي. يوجد نوعان متميزان من الخلايا في الكائنات الحية. خلايا البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة لا تحتوي على أنوية وليس فيها أي عضيات تحدها

أغشية ومثل تلك الخلايا تسمى بدائية النواة. خلايا جميع الكائنات الأخرى تكون حقيقية النواة وتحتوي على النواة والعديد من العضيات التي تحدها الأغشية مثل الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء.

يعتمد تركيب وحركة (إن وجدت) الخلايا حقيقية النواة على نظام من الألياف داخل الخلية ويشمل الخيوط الدقيقة والخيوط المتوسطة والأنابيب الدقيقة.

تشكل خلايا الكائنات عديدة الخلايا إلى عدد من الأنواع المتميزة ولكل نوع من الخلايا المشكلة مظهر خاص ووظيفة أو قلة من الوظائف ليؤديها وعادة بروتين واحد أو أكثر مرتبط بهذه الوظائف. ونمحدث الاتصالات بين الخلايا في الكائنات عديدة الخلايا بعدة طرق.

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - ما هي أوجه الاختلاف بين الخلايا النباتية والخلايا الحيوانية ؟
- ٢ - أذكر جميع التراكيب الموجودة في خلية كبد الفأر والتي تتركب من أغشية.
- ٣ - كيف تختلف الخلايا بدائية النواة عن الخلايا حقيقية النواة ؟
- ٤ - ميز بين العضو والكائن والعضية.
- ٥ - بفرض أن لهم جميعا شكلا كرويا قارن بين مساحة السطح لكل من الميكوبلازما والبكتريا الكروية العنقودية وخلية من خد الإنسان (راجع الشكل ٥-١).
- ٦ - قارن بين أحجامهم إذا كانوا جميعا خوي شكل كروي.
- ٧ - ما هي الجزئيات العضوية المستعملة في بناء :
  - (أ) جدار الخلية النباتية (ب) الكروموسومات
  - (ج) الريبوسوم (د) غشاء الخلية
  - (هـ) الليسوسوم (و) قطرة الزيت

## REFERENCES

## المراجع

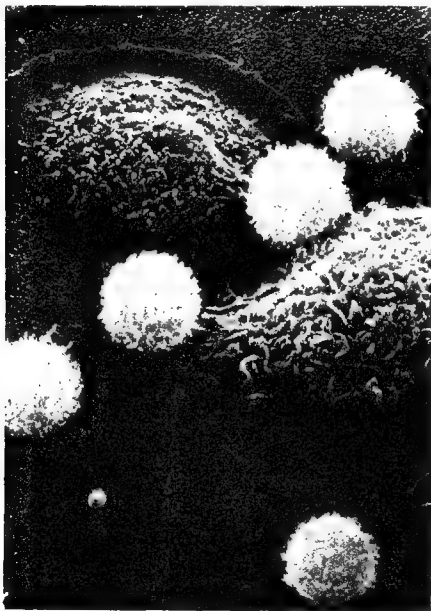
1. PORTER, K. R., and J. B. TUCKER, "The Ground Substance of the Living Cell," Scientific American, Offprint No. 1494, March, 1981. How new techniques of electron microscopy reveal a meshwork that connects and organizes the various cytoplasmic organelles.
2. LODISH, H. F., and J. E. ROTHMAN, "The Assembly of Cell Membranes," Scientific American, Offprint No. 1415, January, 1979. How the asymmetric nature of cell membranes is established and preserved.
3. COOK, G. M. W., The Golgi Apparatus, Oxford Biology Readers, No. 77, Oxford University Press, Oxford, 1975.
4. ALLISON, A.C., Lysosomes, Oxford Biology Readers, No. 58, Oxford University Press, Oxford, 1974.
5. JORDAN, E.G., The Nucleolus, Oxford Biology Readers, No. 16, Oxford University Press, Oxford, 1971.
6. LAZARIDES, E., and J.P. REVEL, "The Molecular Basis of Cell Movement", Scientific American, Offprint No. 1427, May, 1979. Describes the central role played by microfilaments in cell motility.
7. LOEWENSTEIN, W.R. , "Intercellular Communication", Scientific American, Offprint No. 1178, May, 1970. Describes experiments showing the physiology of cell-to-cell junctions.
8. DUSTIN, P., "Microtubules," Scientific American, Offprint No. 1477, August, 1980.
9. STAEHELIN, L. A., and B. E. HULL, "Junctions Between Living Cells," Scientific American, Offprint No. 1388, May, 1978. Includes excellent electron micrographs showing the structure of the various cell-to-cell junctions.



## PART III

## القسم الثالث

### THE LIFE OF THE CELL حياة الخلية



صورة بالمجهر الإلكتروني المساح لخلايا ليمفاوية (الخلايا الأصغر الكروية) والخلايا الأكولة (عن ج. م. أورنشتاين وإي. شيلتون)





## الأيض في الخلايا

### THE METABOLISM OF CELLS

THE CELLULAR ENVIRONMENT	بيئة الخلية	١-٦
THE COMPOSITION OF THE ECF	تركيب السائل الموجود خارج الخلايا	٢-٦
DIFFUSION	الانتشار	٣-٦
FACILITATED DIFFUSION	الانتشار الميسر	
OSMOSIS	الأوزموزية	٤-٦
COPING WITH HYPOTONIC AND	تحمل الأوساط	
HYPERTONIC ENVIRONMENTS	ناقصة التوتر وزائدة التوتر	
ACTIVE TRANSPORT	النقل النشط	٥-٦
ENDOCYTOSIS	دخول المواد إلى الخلية	٦-٦
EXOCYTOSIS	خروج المواد من الخلية	٧-٦
CELL CHEMISTRY	كيمياء الخلية	٨-٦
ENZYMES	الأنزيمات	٩-٦
ENZYME-SUBSTRATE INTERACTION:	التفاعل بين الإنزيم والوسط:	
AN EXAMPLE	مثال	
REQUIREMENTS FOR EFFECTIVE ENZYME	متطلبات النشاط	
FUNCTIONING	الفعال للإنزيم	

**REGULATION OF ENZYMES**  
**CHAPTER SUMMARY**  
**EXERCISES AND PROBLEMS**  
**REFERENCES**

٦-١٠ . تنظيم الإنزيمات  
ملخص الباب  
تمارين ومسائل  
المراجع

## الباب السادس

### الأيض في الخلايا

الخلية هي آلة كيميائية. وهي تكتسب المواد والطاقة من الوسط المحيط بها وتقوم بتحويل هذه المواد بداخلها بواسطة الأنشطة الكيميائية التي تشكل في مجموعها أيض الخلية وفي النهاية تقوم بإعادة بعض النواتج لهذه الأنشطة الكيميائية إلى البيئة.

#### THE CELLULAR ENVIRONMENT

#### ١-٦ . بيئة الخلية

ماهي بيئة الخلية ؟ هي دائما سائل . يبدو ذلك واضحا تماما إذا نظرنا إلى الأميبا في إحددي البرك. وقد لا يكون ذلك واضحا بنفس القدر إذا نظرنا إلى كائن أرضي عديد الخلايا مثل شجرة بلوط أو إنسان . ولكن في هذه المخلوقات أيضا تكون كل خلية حية منغمسة في سائل . خلايا جسمك على سبيل المثال تكون منغمسة في السائل البيئي interstitial fluid المستمد من الدم . ولكنك قد تسأل : ماذا عن الجلد؟ خلايا جلدك المعرضة للجو الخارجي هي خلايا ميتة ولا نجد خلايا جلد حية إلا تحت هذه القشرة الخارجية الميتة وهذه الخلايا الحية مثل كل الخلايا الحية الأخرى تكون منغمسة دائما في سائل . وفي الواقع فحيثما تكون هناك خلايا حية معرضة للجو الخارجي (كما في الطبقة الطلائية المبطنة للممرات الهوائية وفي القرنية الشفافة في مقدمة عينيك) تعمل خلايا إفرازية على غمس الأسطح المعرضة في مدد دائم من الرطوبة . والاسم العام للسائل - أيا كان مصدره - الذي تنغمس فيه الخلايا هو السائل خارج الخلايا extracellular fluid (ECF). كل جزيء أو أيون تحتاجه الخلية يتم تأمينه من السائل خارج الخلايا وكل النواتج أو النفايات التي تقوم الخلية بتصنيعها تترسب في السائل خارج الخلايا.

## ٢-٦ . تركيب السائل الموجود خارج الخلايا

## THE COMPOSITION OF THE ECF

المادة الأساسية في تركيب السائل خارج الخلايا هي الماء . في هذا المذيب الرائع تذوب الجزيئات والأيونات التي تعتمد عليها الخلايا في أداء وظائفها . وهذه تشمل :

- ١- الغازات gases. وأهمها الأوكسجين وثنائي أكسيد الكربون .
- ٢- تشكيلة من الأيونات غير العضوية inorganic ions يوجد منها الصوديوم ( $Na^+$ ) والكلوريد ( $Cl^-$ ) والبوتاسيوم ( $K^+$ ) والكالسيوم ( $Ca^{++}$ ) والبيكربونات ( $HCO_3^-$ ) والفوسفات ( $PO_4^{3-}$ ) بكميات كبيرة . وهناك عدد من الأيونات غير العضوية الأخرى يكون مطلوبا بكميات قليلة فقط . وفي بعض الحالات مثل النحاس  $Cu^{++}$  والزنك  $Zn^{++}$  والمنجنيز  $Mn^{++}$  والكوبالت  $Co^{++}$  تكون هذه العناصر الصغيرة ضرورية لنشاط إنزيمات معينة . اليود يدخل في تركيب هورمون الثيروكسين . كميات قليلة من أيون الفلوريد ( $F^-$ ) تكون هامة لتقوية أجزاء من الأسنان والعظام كما تكون أساسية للنمو الطبيعي في الفترات (الشكل ٦-١) .

- ٣- مركبات عضوية مثل الأغذية Foods والفيتامينات Vitamins . الأغذية هي تلك المواد التي تعمل كمصدر للطاقة اللازمة للخلية وكذلك مصدر للمواد اللازمة لنمو وإصلاح الخلية . وهي تشمل الليبيدات والأحماض الأمينية والسكريات . أما الفيتامينات فهي جزيئات عضوية صغيرة لا يستطيع الكائن تصنيعها من غذائه ويحتاج إليها بكميات قليلة جدا . وهي لا تستعمل كمصدر للطاقة أو لبناء الخلية وبدلا من ذلك تقوم بأداء مهام معينة في الخلية . فمثلا يعمل بعضها كمجموعة فعالة لأحد الانزيمات .

بالإضافة الى هذه المكونات الثلاثة يحتوي السائل خارج الخلايا في الكائنات عديدة الخلايا على الهرمونات hormones . وهذه عبارة عن جزيئات تطلقها خلايا معينة في السائل خارج الخلايا وتؤثر على الأنشطة الأيضية للخلايا الأخرى . يعمل السائل خارج الخلايا أيضا على إبعاد النفايات الإخراجية للخلايا . بالنسبة للحوانات تكون أهم هذه النفايات هي نواتج أيض البروتينات والأحماض النووية . هذه النفايات المحتوية

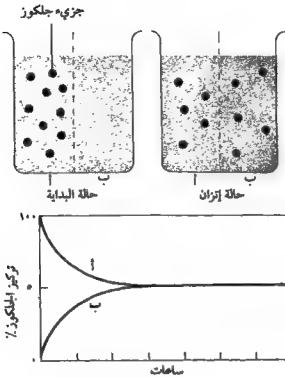


الشكل ٦-١. الحرمان من العناصر الأثرية. الفأر في الصورة السفلي تلقى نفس غذاء الفأر في الصورة العليا مع الاستبعاد التام للقصدير والفاناديوم وأملاح الفلوريد لمدة ٢٠ يوم. عند إعطاء القصدير والفاناديوم للفأر المحروم لم يحدث النمو الطبيعي ولكن عند إضافة ٥ جزء في المليون من فلوريد البوتاسيوم إلى غذائه استرد نموه وصحة العادية. (بتصريح من كلاوس شوارتز-مستشفى إدارة البيطريين - لونغ بيتش - كاليفورنيا).

على النتروجين مثل الأمونيا واليوريا تكون سامة ولا يجب السماح بارتفاع تركيزها في السائل خارج الخلايا عن حد معين.

تركيز أيون الهيدروجين (pH) ودرجة حرارة السائل خارج الخلية لها أهمية كبيرة بالنسبة لحالة الخلية. اذا خرج الأس الهيدروجيني للدم في الانسان عن المدى ٧,٣٤ - ٧,٤٤ فإنه يترتب على ذلك متاعب اىضية خطيرة. وبالمثل تتم المحافظة على درجة حرارة السائل خارج الخلايا في الانسان عادة عند ٣٧,٥ م° (٩٨,٦ ف°).

لندرس الان وسائل تبادل المواد بين الخلية والسائل خارج الخلايا. توجد خمس آليات معروفة لحدوث هذ التبادل: الانتشار - الأوزموزية - النقل - خروج المواد من الخلية (exocytosis). دخول المواد إلى الخلية (endocytosis).



الشكل ٣-٦. جهاز لقياس إنتشار الجزيئات الصغيرة عبر غشاء من السيلوفان. عند بدء التجربة تكون كل جزيئات الجلوكوز في القسم أ ويمرور الوقت يتسبب إنتشار الجلوكوز في نقص تركيزه بالقسم أ وبنفس المقدار زيادته في القسم ب. وبعد ثلاث ساعات يتساوي التركيزان وتحدث حالة اتزان.

### Diffusion

### ٣-٦. الانتشار

قسم غرفة الى جزئين بواسطة غشاء من السيلوفان (الشكل ٣-٦). إملأ أحد الجزئين (أ) بمحلول الجلوكوز (أو أي جزيء صغير أو أيون يمكن قياس تركيزه بسهولة). إملأ الجزء الآخر (ب) بالماء النقي ثم خذ عينة من كل جزء كل عدة دقائق وقس تركيز الجلوكوز في كل منها. سوف تجد أنه بمرور الوقت ينخفض تركيز الجلوكوز في الجزء (أ) وبنفس القدر يرتفع تركيزه في الجزء (ب). وفي النهاية يأتي وقت تتساوى فيه التركيزات في الجزئين (الشكل ٣-٦) وتظل على هذا الحال.

الظاهرة التي كنت تراقبها هي الانتشار. وهي تحدث بسبب الحركة العشوائية المستمرة المميزة لكل الجزيئات التي لا تقيد مع بعضها في مادة صلبة. يتحرك كل جزيء في خط مستقيم حتى يصطدم مع جزيء آخر (جزيء جلوكوز أو ماء أو سيليلوز من غشاء السيلوفان في هذه الحالة). وبلي كل تصادم إنحرف الجزيء في إتجاه آخر وتكون النتيجة حركة عشوائية للجزيء. وفي بداية إمتلاء الأجزاء تؤدي الحركة

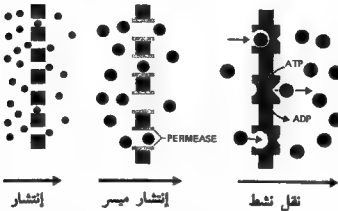
العشوائية لجزيئات الجلوكوز الى تصادمات عديدة مع غشاء السيلوفان. ومع ذلك توجد في الغشاء ثغوب كبيرة بالقدر الذي يسمح بمرور جزيئات الجلوكوز وبذلك تمس الجزيئات المنحرفة في إتجاه هذه الثغوب إلى الجزء (ب). وكلما أخذ تركيز الجلوكوز يتزايد في الجزء (ب) نتوقع أن تبدأ هذه الجزيئات في العودة وهذا ما يحدث بالفعل ولكن طالما كان هناك فرق في التركيز  $\text{concentration gradient}$  عبر الغشاء - أي طالما كان تركيز جزيئات الجلوكوز في الجزء (أ) أعلى منه في الجزء (ب) تكون هناك محاولات أكثر لاختراق السيلوفان من الجانب (أ) الى الجانب (ب) وتستمر محصلة حركة جزيئات الجلوكوز من (أ) الى (ب). وعندما تصبح التركيزات متساوية تكون سرعة الانتقال بين (أ) ، (ب) في الاتجاهين متساوية وحينئذ تصل الى حالة اتزان equilibrium (الشكل ٦-٢).

لا تعتمد سرعة إنتشار المواد خلال غشاء الخلية على فرق التركيز عبر الغشاء فقط وإنما على حجم وشحنة الدقائق المعنية وقابليتها للذوبان في الليبيدات (أي الكارهة للماء) عبر الأغشية بسهولة أكثر من إنتشار الجزيئات المحبة للماء. أغشية الخلايا تكون أقل نفاذية بالنسبة للأيونات (مثل الصوديوم  $\text{Na}^+$  والكلوريد  $\text{Cl}^-$  والبوتاسيوم  $\text{K}^+$ ) عنها بالنسبة للجزيئات الصغيرة التي لا تحمل شحنات. وإذا تساوت كل الظروف فإن الجزيئات الصغيرة تنتشر عبر الغشاء الخلوي أسرع من الجزيئات الكبيرة. وفي الواقع فإن الانتشار البسيط للجزيئات المحبة للماء التي تزيد عن ٧-٨ وحدات أنجستروم يتوقف بالكامل تقريبا عند غشاء الخلية. ومع ذلك تستطيع تلك الجزيئات النفاذ الى داخل الخلية واحدى طرق هذا النفاذ هي الانتشار الميسر.

#### FACILITATED DIFFUSION

#### الانتشار الميسر

تختلف أغشية الخلية عن لوح السيلوفان في أن نفاذيتها متغيرة variable. حينما تنتقل بكتيريا القولون العادية *E. coli* من وسط يحتوي على الجلوكوز الى وسط يحتوي على اللاكتوز فسرعان ما يتباطأ الأيض فيها. وأحد أسباب ذلك أن غشاء الخلية عادة يكون غير منفذ للاكتوز. ومع ذلك فبعد بضع دقائق يبدأ اللاكتوز في الدخول إلى الخلية بفضل ظهور إنزيم البريمياز permease في غشاء الخلية. إنزيم البريمياز عبارة عن بروتين موجود في غشاء الخلية ويعمل كوسيلة تعبر بها جزيئات اللاكتوز الطبقة المزدوجة من



الشكل ٣-٦. آليات لدخول وخروج المواد من الخلايا. في كل من الانتشار والانتشار الميسر تنتقل الدقائق (جزيئات أو أيونات) مع إجهاء فرق تركيزها. في النقل النشط تتحرك الدقائق في عكس إجهاء فرق تركيزها وذلك يتطلب من الخلية بذل طاقة.

الليبيدات الكارهة للماء في غشاء الخلية. الانتشار الذي يعتمد على آليات إنتقال غشائية خاصة مثل البرمياز يسمى الانتشار الميسر (الشكل ٣-٦). إنتشار الأدينوزين ثنائي الفوسفات (ADP) إلى داخل الميتوكوندريا وانتشار الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) إلى خارج الميتوكوندريا أيضا يتطلب الانتشار الميسر. في جميع حالات الانتشار الميسر تتحرك الجزيئات في إجهاء فرق التركيز بينها أي في الاتجاه الذي كانت سوف تسلكه لو كان الغشاء منفذا لها. ومع ذلك تستطيع الأغشية الخلوية أيضا أن «تضخ» المواد ضد فرق تركيزها كما سوف نرى في القسم ٦-٥.

## OSMOSIS

## ٣-٦. الأوزموزية

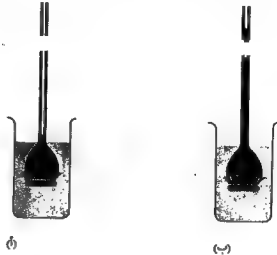
الأوزموزية هي ببساطة حالة خاصة من حالات الانتشار. يعرف الكيمائيون الأوزموزية بأنها إنتشار أي مذيب خلال غشاء إنتخابي النفاذية. أغشية الخلية التي تسمح بمرور بعض الجزيئات وتمنع مرور جزيئات أخرى هي أغشية إنتخابية النفاذية. المذيب العام في الكائنات الحية كما ذكرنا من قبل هو الماء. ولذلك يمكن تعريف الأوزموزية بأنها إنتشار الماء عبر غشاء إنتخابي النفاذية من منطقة تركيز عالي إلى منطقة تركيز منخفض. لاحظ أن التركيز هنا يشير إلى تركيز المذيب (أي الماء) وليس تركيز الذائبات (الجزيئات والأيونات) التي قد تكون ذائبة في الماء. تبادل الماء بين الخلية والوسط المحيط بها من الأهمية بحيث يستحق إسما خاصا هو الأوزموزية.

تجربة لتوضيح الأوزموزية مبينة في الشكل (٦-٤). الفتحة السفلية للأنبوبة



الزجاجية مغطاة بغشاء من السيلوفان يعمل كغشاء إنتخابي النفاذية حيث يسمح بالمرور السريع لجزيئات الماء ويعترض مرور الجزيئات الأكبر. تمتلئ الأنبوبة بالمولاس وهو محلول مركز من السكر في الماء ثم توضع في كأس به ماء مقطر. في أي اتجاه تحدث الأوزموزية؟ تركيز الماء في الكأس هو ١٠٠٪ وتركيز الماء داخل الأنبوبة أقل من ذلك لأن أي حجم من محلول المولاس يحتوي على عدد أقل من جزيئات الماء الموجودة في نفس الحجم من الماء المقطر. هناك إذن محصلة لحركة جزيئات الماء عبر غشاء السيلوفان إلى داخل الأنبوبة.

كلما دخل المزيد من جزيئات الماء الى داخل الأنبوبة إزداد حجم المحلول بها، فيندفع صاعدا إلى أعلى. هذا الاندفاع ينشأ من الضغط الناجم عن إنتشار جزيئات الماء الى داخل الأنبوبة. هذا الضغط يسمى بالضغط الأوزموزي Osmotic pressure. كلما زاد الفرق في تركيز الماء على جانبي الغشاء زاد الميل الى حدوث الأوزموزية وكلما زاد الضغط الأوزموزي. وفي الواقع فانه عندما يتوقف عمود المولاس عن الإرتفاع يكون لدينا مقياس تقريبي للضغط الأوزموزي في هذا النظام. الضغط الناشئ عن وزن عمود الماء يعادل في النهاية الضغط الأوزموزي وتتوقف الأوزموزية. لاحظ أن تركيز الماء مايزال غير متساوي على جانبي الغشاء. ومع ذلك فان زيادة الضغط على السطح الداخلي للغشاء والناشئة عن وزن عمود المولاس فوقها تتسبب في دفع جزيئات خلال المسام وعندما تساوي سرعة عملية الدفع هذه سرعة وصول جزيئات الماء بسبب فرق التركيز فان الأوزموزية تتوقف.



الشكل ٦-٤. مقياس الأوزموزية (أوزمومتر). (أ) في البداية. (ب) بعد بضع ساعات. السيلوفان غشاء إنتخابي النفاذية ويمر الماء من خلاله أسهل من مرور جزيئات السكر.

عند وضع خلايا دم حمراء من الإنسان في ماء نقي تبدأ جزيئات الماء في الانتشار إلى داخل هذه الخلايا. تحدث هذه الأوزموزية لأن هناك تركيز أكبر للماء (١٠٠٪) خارج الخلايا عن داخلها. الماء المحيط بالخلايا يسمى ناقص التوتر hypotonic بالنسبة لسيترولازم الخلايا. غشاء الخلايا الحمراء هش للغاية ولا يستطيع أن يتحمل تزايد الضغط عليه من داخل الخلية فتفجر الخلية.

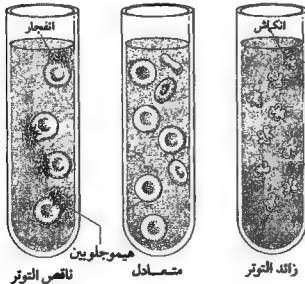
إذا وضعت الخلايا الحمراء في ماء البحر يخرج الماء من الخلايا بواسطة الأوزموزية وتنكمش الخلايا (الشكل ٦-٥) وذلك لأن حجم معين من ماء البحر يحتوي على عدد من جزيئات الماء أقل مما يحتويه نفس الحجم من سيترولازم الخلايا الحمراء. يسمى ماء البحر زائد التوتر hypertonic بالنسبة لسيترولازم الخلايا.

حينما توضع الخلايا الحمراء في وسط يحتوي على تركيز ماء مساوياً لما في السيترولازم (مثل بلازما الدم أو محلول تركيزه ٩,٠٪ من كلوريد الصوديوم) فإنها لا تنكمش ولا تفقد الماء بالأوزموزية. مثل هذا المحلول يسمى متعادل التوتر isotonic.

### تحمل الأوساط ناقصة التوتر وزائدة التوتر

#### COPING WITH HYPOTONIC AND HYPERTONIC ENVIRONMENTS

ماذا عن الكائنات التي تقضي حياتها في المياه العذبة؟ من المؤكد أن تركيز الماء في



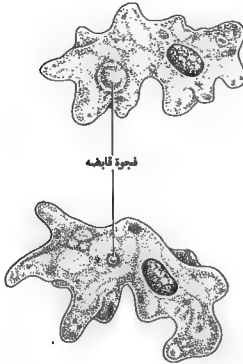
الشكل ٦-٥. تأثير الأوساط المحتوية على تركيزات أصل (ناقص التوتر) ومتساوية (متعادل) وأقل (زائد التوتر) من الماء من تركيز الماء في محتويات خلايا الدم الحمراء.



السيئولازم لا يمكن أن يقترب من تركيز الماء النقي المحيط بها. في حالة خلايا نباتات المياه العذبة يدخل الماء إلى الخلية بالأوزموزية. كلما ازدحت الخلية بمزيد من الجزيئات تبدأ محتويات الخلية في الضغط على جدار الخلية. هذا الضغط يسمى ضغط الامتلاء Turgor Pressure (الشكل ٦-٦). تستطيع الجدر السيليلوزية للخلية تحمل هذا الضغط وبسرعة يتساوى ضغط الامتلاء داخل الخلية مع الضغط الأوزموزي حتى ولو لم تكن تركيزات الماء على جانبي الغشاء متساوية.

غالباً ما تحتوي الفجوات المركزية للخلايا في النباتات الأرضية على تركيز مرتفع من المواد الذائبة. يدخل الماء الممتص من التربة إلى الخلايا وينشأ بها ضغط إمتلاء. هذا يؤدي إلى تصلب جدار الخلية. ضغط الإمتلاء في جدر جزء غير خشبي من النباتات مثل ورقة أو بتلة زهرة أو ساق عشبية يؤدي إلى التصلب. حينها لا تستطيع النباتات الأرضية تأمين كميات كافية من الماء من التربة تفقد خلاياها ضغط الامتلاء ويذبل النبات.

حيوانات المياه العذبة والحيوانات الأولية ليس لها جدر سيليلوزية وعليها أن تجابه الحياة في وسط ناقص التوتر بطريقة مختلفة. يدخل الماء إلى خلاياها باستمرار بالأوزموزية ولكن لا ينشأ بها إلا ضغط إمتلاء قليل. يتم حل المشكلة باستخدام قدر من الطاقة وتركيب انقباضي لاعادة ضخ الماء الزائد مرة أخرى إلى خارج الخلية. تنجز الأميبا وحيدة الخلية ذلك بواسطة فجوة قابضة (الشكل ٦-٧) يتجمع فيها الماء الداخلى إلى الخلية بالأوزموزية وعندما تمتلئ الفجوة فانها تنقبض ( بمساعدة الأنابيب الدقيقة ) لتدفع الماء إلى الخارج من خلال ثقب يتكون لحظياً في غشاء الخلية. لاحظ أن الماء الذي دخل الخلية كنتيجة للنشاط الجزيئي العشوائي للأوزموزية يغادر الخلية بسبب



الشكل ٦-٧. تتخلص الأميبا من التسدق الدائم للماء من الوسط ناقص التوتر المحيط بها عن طريق تبادل ملء وتفريغ فجويها القابضة. يمكن تفريغ محتويات الفجوة عند أي نقطة على سطح الخلية.

قوة تولدت في الخلية. وتوليد هذه القوة يتطلب بذل الخلية لبعض الطاقة. في الباب ٣٢ سوف ندرس بعض الآليات التي تمجابه بها حيوانات المياه العذبة مثل الأسماك البيئات ناقصة التوتر.

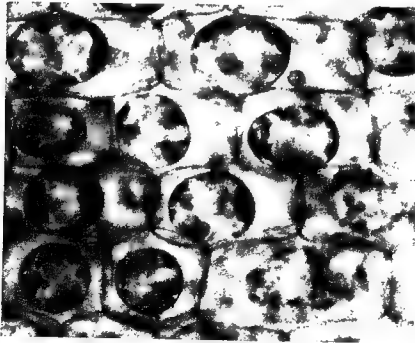
الحياة في المحيطات لها ظروف أوزموزية مختلفة تماماً عنها في المياه العذبة، فماء البحر يحتوي على حوالي ٠,٣٪ أيونات مختلفة وخاصة  $Na^+$  و  $Cl^-$ . وهذا يؤدي إلى تركيز ماء يساوي تقريباً تركيز الماء في سيتوبلازم النباتات البحرية واللافقاريات التي تعيش في البحر. وعلى ذلك فإن هذه الكائنات تستطيع أن تعيش في حالة إتران فيما يتعلق بالماء في الوسط المحيط بها. فهي لا تكتسب ولا تفقد الماء بالأوزموزية لأن ماء البحر متعادل التوتر بالنسبة لسيتوبلازمها.

إذا كان تركيز الملح في ماء البحر هو ٣٪ بالوزن وبالتالي تركيز الماء ٩٧٪ فإن ذلك لا يعني أن تركيز الماء في سيتوبلازم هذه النباتات والحيوانات البحرية هو ٩٧٪ بالوزن كذلك السرعة التي يحدث بها الانتشار أو الأوزموزية هي مقياس للاختلاف في عدد وليس في وزن الجزيئات أو الأيونات المنتشرة. حينئذ تحدث الأوزموزية فإن منطقة

التركيز الأعلى هي ببساطة المنطقة التي تحتوي على العدد الأكبر من جزيئات الماء في حجم معين من المخلوط. وقد يحتوي سيتوبلازم هذه الكائنات البحرية على كمية تصل في ضالتها إلى ٨٠-٩٠٪ بالوزن من الماء. ومعظم ما تبقى في السيتوبلازم يتكون من البروتين. هذه الجزيئات الكبيرة تشكل جزءا كبيرا من وزن السيتوبلازم ولكن تساهم بجزء ضئيل من التأثير الأوزموزي بسبب قلة عدد جزيئاتها.

وبالمثل فإن محلول ملح تركيز ٩,٠ ٪ (أي ٩٩,١ ٪ ماء) يكون متعادل التوتر بالنسبة لبلازما دم الإنسان على الرغم من أنها تحتوي على ٩٠ ٪ فقط بالوزن من الماء ولكن عدد جزيئات الماء في حجم معين من كل منها متساو.

عند وضع نبات مياه عذبة (أو أرضي) في ماء البحر فسرعان ما تفقد خلاياه امتلاءها ويذبل النبات إذ أن ماء البحر زائد التوتر بالنسبة للسيتوبلازم. وكلما استمر انتشار الماء من السيتوبلازم إلى ماء البحر تنكمش الخلية تدريجيا. هذه الحالة تعرف باسم البلمزمة plasmolysis. لاحظ في الشكل (٦-٨) كيف أن محتويات الخلايا قد تباعدت عن جدرانها التي مازالت محتفظة بأشكالها الأصلية.



الشكل ٦-٨. خلايا متبلزمة في نبات المياه العذبة إلوديا الذي وضع في ماء البحر. الحيز الموجود بين أغشية الخلية وجدار الخلية أصبح يمثلنا مياه البحر.



الشكل ٦-٩. غدد الملح في  
نورس الرنجة. السائل الذي  
تفرزه الغدد أكثر ملوحة من  
الدم.

في الأسماك العظمية يكون تركيز الماء في السائل المحيط بالخلايا أعلى بكثير منه في ماء البحر وعلى ذلك فإنها تعيش في وسط زائد التوتر. وبينما يكون على كائنات المياه العذبة أن تواجه المرور المستمر للماء إلى داخل أجسامها بالأوزموزية فإن الأسماك العظمية في الماء المالح عليها أن تفقد الماء باستمرار بالأوزموزية. مرة أخرى تعتمد النجاة على بذل الطاقة لمقاومة قوة الأوزموزية. تشرب الأسماك ماء البحر ثم تستغل الطاقة الأيضية للتخلص من الملح وتطلق الملح إلى البيئة الخارجية عند الخياشيم. الطيور البحرية التي قد تقضى فترات طويلة من الزمن بعيداً عن المياه العذبة وكذلك سلاحف البحر تستعمل أسلوباً مشابهاً. فهي أيضاً تشرب ماء البحر لأشباع إحتياجاتها المائية ثم تستغل الطاقة الأيضية لنزع الملح منه ثم يتم إستخلاص الملح بواسطة غدتين في الرأس ويطلق ( في محلول مركز جداً ) إلى الخارج خلال فتحات الأنف (الشكل ٦-٩). كذلك تلتجأ الثعابين البحرية إلى وسيلة مشابهة لنزع الملح.

## ACTIVE TRANSPORT

## ٥-٦. النقل النشط

يحتوي سيتوبلازم خلايا الدم الحمراء في الانسان على تركيز أيونات البوتاسيوم يبلغ ٣٠ ضعف التركيز الموجود في السائل المحيط بها ( بلازما الدم ). من ناحية أخرى تحتوي بلازما الدم على تركيز أيونات الصوديوم يبلغ حوالي ١١ ضعف التركيز الموجود في الخلايا الحمراء. حتى لو كان إنتشار هذه الأيونات عبر غشاء الخلية بطيئاً فكيف يمكن أن نفسر هذه الإختلافات الكبيرة في التركيز ؟ إذا قمنا بتبريد الخلايا الحمراء أو حرمانها من الجلوكوز أو عاملناها بإداة سامة تعطل إنطلاق الطاقة داخل الخلية فإن البوتاسيوم يأخذ في التسرب إلى الخارج ( بالانتشار ) كما يبدأ الصوديوم في التسرب الى الداخل حتى يصل إلى مرحلة إتزان. وإذا عكسنا أي من الخطوات المعطلة السابقة

فان ذلك سيدفع هذه الأيونات إلى التحرك مرة أخرى في عكس اتجاه فرق التركيز. هذه الحركة للأيونات والجزيئات ضد فرق التركيز تسمى بالنقل النشط. ويوصف بالنشط لأنه - كما يتضح من التجارب السابقة - لا يبد للخلايا من بذل طاقة كي يتم النقل ضد القوي السلبية للانتشار.

قدرة الخلايا على النقل للأيونات والجزيئات من وإلى السائل المحيط بها واسعة الانتشار. عادة تحتوي الكائنات البحرية على أيونات معينة في السيتوبلازم بتركيزات تبلغ ألف ضعف أو أكثر عما هو موجود في ماء البحر المحيط بها. كذلك تستطيع الخلايا المبطنة الأمعاء أن تقوم بالنقل النشط للجلوكوز من التركيز الأقل في محتويات للأمعاء إلى التركيز الأعلى في الدم.

الآلية الفعلية التي يحدث بها النقل النشط مازالت محل بحوث مستفيضة. ومع ذلك فمن الواضح أن عملية الضخ إلى أعلى هذه تتطلب بذل طاقة كما أنها تتطلب وجود إنزيمات في أغشية الخلية تعمل على نقل الجزيئات والأيونات من جانب التركيز المنخفض إلى جانب التركيز المرتفع. واحد من أكثر إنزيمات النقل النشط إنتشارا يكون مسؤلًا عن ضخ أيونات الصوديوم إلى خارج الخلية وضخ أيونات البوتاسيوم إلى داخلها. ولكي يعمل هذا الانزيم كمضخة لابد أن تتوفر فيه عدة مميزات. أولاً لابد للانزيم أن يوجد به موقع ترتبط به الأيونات المنقولة. ثانياً لابد أن يكون الانزيم قادراً على نقل الأيون من أحد جانبي غشاء الخلية إلى الجانب الآخر (الشكل ٦ - ٣). ثالثاً لابد أن يكون ارتباط الإنزيم بالأيون أقوى في الجانب الذي ينتقل منه الأيون وأضعف في الجانب الذي ينتقل إليه الأيون. وأخيراً مطلوب وسيلة لإمداد الطاقة التي تؤدي إلى حدوث هذه التغيرات. الطاقة اللازمة لتشغيل مضخة الصوديوم والبوتاسيوم تأتي من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP).

هناك العديد من المواد الأخرى مثل بعض السكريات والأحماض الأمينية يحدث لها النقل النشط إلى داخل الخلايا. في بعض الحالات يتم إمداد الطاقة اللازمة لذلك من فارق التركيز لأيونات الصوديوم الذي تحدته مضخة الصوديوم - بوتاسيوم. بمساعدة بروتين خاص بالنقل تدخل جزيئات الجلوكوز وأيونات الصوديوم إلى الخلية معاً. وبعد ذلك يتم ضخ الصوديوم مرة أخرى إلى الخارج بواسطة مضخة الصوديوم - بوتاسيوم.

وعلى ذلك فإن مضخة الصوديوم - بوتاسيوم لا تقوم فقط بالنقل النشط لأيونات الصوديوم والبوتاسيوم ولكنها تقوم بطريق غير مباشر بإمداد الطاقة اللازمة للنقل النشط لمواد أخرى كذلك .

## ٦-٦ . دخول المواد إلى الخلية

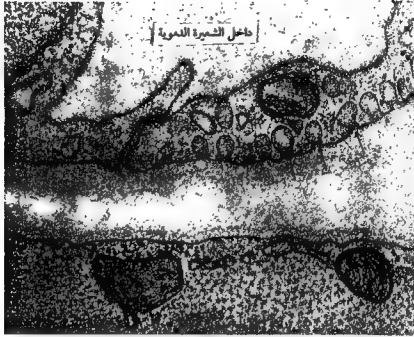
آلية أخرى تنقل الخلية بها المواد من السائل المحيط بها إلى داخلها هي أن تحيط بها عن طريق إنشاء جزء من غشاء الخلية للداخل والجيب الناتج يفصل عن الجزء الخارجي من الغشاء ليكون فجوة في السيتوبلازم . في بعض الخلايا تتم الإحاطة بدقائق صلبة مثل البكتيريا بهذه الطريقة . تستمد الأميبا غذاءها بابتلاع كائنات دقيقة أصغر منها بنفس الطريقة (الشكل ٦ - ١٠) . تؤدي خلايا الدم البيضاء دورا بالغ الأهمية بإبتلاعها للدقائق مثل البكتيريا التي قد تدخل إلى جسم الحيوان . هذه العملية التي لوحظت منذ فترة متأخرة من القرن الماضي تسمى أكل الخلايا phagocytosis . ومع ذلك فقد تبين في السنوات الأخيرة أن أنواعا كثيرة من الخلايا تستطيع أن تبتلع قطرات من السائل المحيط بها بتكوين فجوات مع أن هذه الفجوات أصغر من أن تتسع لدقائق صلبة . ومهما كان حجم ومحتويات الفجوة فإن آلية الابتلاع ( التي تتطلب خيوط دقيقة فعالة ) تكون دائما واحدة . ولذلك فإن المصطلح الشامل دخول المواد إلى الخلية endocytosis قد بدأ ينتشر إستعماله لوصف هذه العملية .

الابتلاع يسمح للمجزيئات الكبيرة مثل البروتينات (وهي أكبر حجما وعبة للماء أكثر من أن يسمح بمرورها عن طريق الانتشار البسيط) بالدخول إلى الخلية . (الشكل ٦-١١) هو صورة بالمجهر الإلكتروني لقطاع في جدار إحدى الشعيرات الدموية



الشكل ٦-١٠ . الابتلاع في الأميبا . حتى عندما تتم الإحاطة بالضحية فانها تظل معزولة عن سيتوبلازم الأميبا بغشاء حول الفجوة الغذائية . إبتلاع الدقائق الصلبة يسمى كذلك أكل الخلايا .

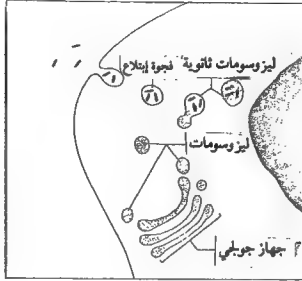




الشكل ٦-١١. الابتلاع في خلية رقيقة تشكل جدار شعيرة دموية. لاحظ أن الانثناءات للداخل قد تكونت على سطحي الخلية. (٥٦٠٠٠ مرة - عن فاوست : الخلية عضياتها ومحتوياتها - شركة و. ب. سوندرز - ١٩٦٦).

( أصغر نوع من الأوعية الدموية في أجسامنا ). عند القمة يوجد الجزء الداخلي أو تجويف الشعيرة. في الوسط يوجد الفراغ النسيجي الفاصل بين جدار الشعيرة والخلية العضلية القريبة (في الجزء السفلي) وتوى بوضوح الثنيات الداخلية الصغيرة في غشاء الخلية وأغلبها ممتلئ بالسائل المحيط بالخلية من الفراغ النسيجي ولكن يمكن رؤية بعضها على الجانب الآخر من الجدار كذلك. وهي تبدو ممتلئة بسائل من داخل الشعيرة الدموية.

مجرد حدوث إنثناء داخلي في جزء من غشاء الخلية بما يحويه من مواد من السائل المحيط بالخلية لا يؤدي إلى وصول هذه المواد إلى البلازما السائلة للخلية فهي تبقى محفوظة داخل فجوات محاطة بالأغشية. ولكن سرعان ما يلتحم واحد أو أكثر من الليسوسومات (أنظر القسم ٥-١٠) مع فجوة الابتلاع endocytic vacuole وتختلط محتويات العضيات. التركيب الناتج يسمى الليسوسوم الثانوي secondary lysosome (الشكل ٦-١٢). وقد تذكر أن الليسوسومات تكون



الشكل ٦-١٢. الفجوات الناشئة عن عملية الابتلاع تلتحم مع الليسوسومات. التراكيب الناتجة هي الليسوسومات الثانوية. الليسوسومات الثانوية نفسها يمكن أن تلتحم مع فجوات ابتلاعية إضافية. يتم تصنيع الليسوسومات بواسطة جهاز جولجي.

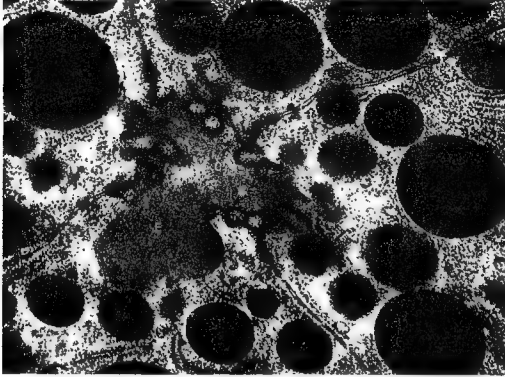
ممتلئة بانزيمات قادرة على تحليل كل أنواع الجزيئات الكبيرة. النواتج الذائبة لعمليات التمثيل الأنزيمية (مثل الأحماض الأمينية والسكريات والنيوكليوتيدات) يمكنها بعد ذلك أن تمر من الليزوسوم الثانوي إلى البلازما السائلة للخلية.

هذا لا يستنفذ بأي حال من الأحوال قدرات الانزيمات الموجودة في الليسوسومات. فالليسوسومات الثانوية يمكنها أن تلتحم مع فجوات ابتلاع جديدة وتضم محتوياتها.

## EXOCYTOSIS

### ٦-٧. خروج المواد من الخلية

الطرود هو عكس الابتلاع. في الخلايا المفرزة لكميات كبيرة من البروتين يتجمع البروتين أولاً في كيس محاط بالأغشية في جهاز جولجي ويتحرك هذا الكيس إلى سطح الخلية حيث يلتحم غشاؤه مع غشاء الخلية ثم يفرغ محتوياته إلى الخارج (الشكل ٦-١٣). تقوم الخلايا المبطنة لأمعائنا بتخليق قطرات ضئيلة من الدهن ثم تطلقها إلى الخارج بالطرود. وربما كانت بعض الفجوات الضئيلة المبينة في الشكل (٦-١١) ليست في حالة أخذ مواد بالابتلاع وإنما في حالة تفريغ مواد بالطرود. بعبارة أخرى فإن فجوات الابتلاع التي تتكون عند أحد أسطح الخلية قد تتحرك عبر الخلية إلى السطح الآخر حيث تلتصق بمحتوياتها وبهذه الطريقة تنتقل المواد بكفاءة عبر جدار الشعيرة الدموية.



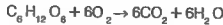
الشكل ٦-١٣ الطرد. الأجسام الكروية الكبيرة تحتوي على إنزيمات هضمية يرى أحدها في حالة تفريغ محتوياته (E) في القناة بينخلوية (C) عند التقاء أركان هذه الخلايا الأربعة من بنكرياس الحفّاش. ٣٠٠٠٠ مرة من فلوست: الخلية عضياتها ومحتوياتها - شركة و.ب. سوندرز - ١٩٦٦ء.

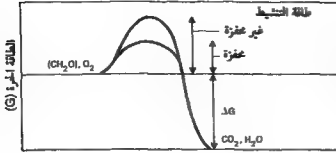
## CELL CHEMISTRY

## ٦-٨. كيمياء الخلية

الخلية هي معمل كيميائي حقيقي. فقد تم اكتشاف المثبات من التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الخلايا وتزداد القائمة كل عام.

حينما ألقينا نظرة سريعة على التفاعلات الكيميائية في الباب رقم (٣) علمنا أن بعض التفاعلات تتمخض عن انطلاق طاقة حرة ( $\Delta G$ ). بينما يتطلب بعضها أخذ بعض الطاقة الحرة ( $\Delta G$ ) مثال للنوع الأول هو إحتراق أي وقود مثل الخشب والفحم والبترول أو (وهذا ما يهيمننا بصفة خاصة) الجلوكوز. معادلة الاحتراق الكامل للجلوكوز هي:



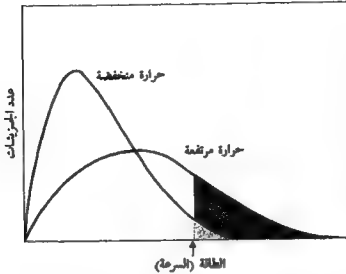


الشكل ٦-١٤. علاقات الطاقة عند حرق أو تنفس أحد الكربوهيدرات ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) مثل الجلوكوز. عامل حفاز ينقص طاقة التنشيط اللازمة فيجري التفاعل بسرعة عند درجات الحرارة المنخفضة.

في هذه الحالة تكون  $\Delta G$  ٦٨٦ كيلو سعر أي أن احتراق ١ مول (١٨٠ جم) من الجلوكوز يطلق ٦٨٦ كيلو سعر من الطاقة . قيمة  $\Delta G$  تمثل الفرق بين مجموع طاقة الروابط للمواد الداخلة في التفاعل ومجموع طاقة الروابط للمواد الناتجة منه . في الشكل (٦-١٤) يكون ذلك عملاً بالحطين الأفقيين وكما يتضح من الرسم البياني فإن هذه العملية تكون عملية تنازلية downhill. فهي تتطلب طاقة لكسر روابط المواد الداخلة في التفاعل أقل من الطاقة المطلوبة لتكوين الروابط في المواد الناتجة منه . لماذا إذن لا تحدث هذه العملية تلقائياً ؟ لماذا لا يشتعل وعاء به جلوكوز عند تعرضه للأوكسجين ؟

السبب هو أن هذه العملية لا يمكن أن تحدث بدون إدخال كمية معينة من الطاقة تسمى طاقة التنشيط energy of activation. يمكن النظر إلى هذه العملية من حيث ضرورة الاحتياج إلى طاقة لكسر روابط المواد الداخلة في التفاعل حتى تكون عملية إعادة ترتيب الذرات ممكنة . الحصول في النهاية على طاقة أكبر مما وضعت في التفاعل لا يلغي الحاجة إلى طاقة للبدء فيه . يمكن تمثيل ذلك بيانيا برسم حاجز أو تل لابد من التغلب عليه قبل أن يكون التفاعل الكيميائي ممكن الحدوث . طريقة أخرى للنظر إلى هذه المشكلة هي من حيث قوة التصاحمات التي لابد أن تحدث إذا كان لجزيئات المواد الداخلة في التفاعل أن تنقل إليكترونات من أحد المدارات إلى آخر . عند درجة حرارة معينة فإن أي مجموعة من الجزيئات يكون من بينها جزيئات عديدة تتحرك بسرعة متوسطة أو أقرب ما يكون إليها (ودرجة الحرارة هي مقياس لسرعة الجزيئات) وكذلك أعداد متناقصة من جزيئات تتحرك بسرعات أقل أو أكبر من ذلك (الشكل ٦-١٥) .

دعنا نقول أن الجزيئات التي تتحرك بسرعات أكبر من القيمة المشار إليها بسهم في



الشكل ٦-١٥. توزيع الطاقات في مجموعتين من الجزيئات واحدة محفوظة عند درجة حرارة منخفضة والأخرى عند درجة حرارة مرتفعة يشير السهم إلى الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لكي تتفاعل هذه الجزيئات كيميائياً. عند درجة الحرارة العالية تتخطى نسبة أكبر من الجزيئات الحد الأدنى من الطاقة ويستمر التفاعل بصورة أسرع.

الشكل (٦-١٥) هي فقط التي لها طاقة كافية للتصادم الفعال فيما بينها بحيث تحدث التغير الكيميائي. تحت ظروف درجات الحرارة المنخفضة (الشكل ٦-١٥) فانك تتوقع أن يحدث التفاعل ببطء شديد. هذا هو الحال مع ملعقة شاي من بللورات الجلوكوز المعرضة للهواء.

كيف يمكننا الاسراع بهذا التفاعل الذي يعطي أكثر مما يأخذ من الطاقة ( $\Delta G$ )؟ طريقة سهلة هي رفع درجة الحرارة وبذلك نكتسب نسبة أكبر من الجزيئات الطاقة اللازمة (الشكل ٦-١٥) ويكون هناك تصادمات عنيفة أكثر فأكثر وتزيد سرعة التفاعل. إذا وجهنا لهب بنزن إلى الجلوكوز فسوف يشعله بسرعة ويأخذ الجلوكوز في الاحتراق بسهولة بدون مزيد من اللهب من موقد بنزن. الطاقة المنبعثة من الجزيئات المحترقة سوف تمد بقية الجزيئات بطاقة التنشيط ويستمر الاحتراق تلقائياً حتى تكتمل العملية.

بالطبع لا تتناسب حرارة اللهب مع الحياة. كيف تقوم الخلايا الحية إذن بتفاعلاتها الكيميائية بسرعات عالية بالقدر الذي يجعلها مفيدة وعند درجات حرارة منخفضة بالقدر الذي يجعلها مأمونة؟ الإجابة هي باستخدام الانزيمات.

## ENZYMES

## ٦-٩. الإنزيمات (أو الحفائر)

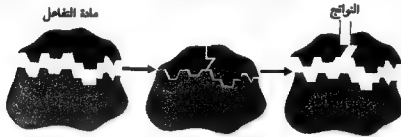
الانزيمات هي مواد حفازة. وهي مواد (بروتينات) تتحد مؤقتاً مع مادة أو أكثر من

المواد المتفاعلة وبذلك تخفض من حاجز الطاقة - طاقة التنشيط اللازمة - للفاعل (الشكل ٦-١٤) وبذلك تسمح بحدوثه بسرعة. في الباب (٧) سوف ندرس سلسلة كاملة من التفاعلات التي تخفّضها الإنزيمات وفيها تنطلق طاقة أكسدة الجلوكوز  $\Delta G$  - بسرعة وبأمان (أي عند درجات حرارة معتدلة) داخل الخلية.

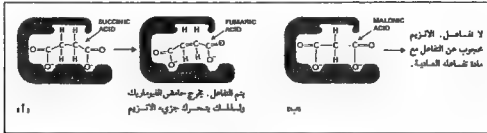
لكي يقوم الإنزيم بعمله لابد له أن يتحد (ولو لفترة وجيزة للغاية) بأحد المتفاعلات على الأقل. في معظم الحالات لا تكون القوى التي تربط الإنزيم بالمادة المتفاعلة روابط تساهمية ولكن بدلاً من ذلك تقوم الروابط الهيدروجينية أو الروابط الأيونية أو التجاذب المتبادل بين الأجزاء الكارهة للماء من الجزيئين إما منفردة أو مع بعضها بربط المادة المتفاعلة مع الإنزيم لفترة وجيزة. معظم هذه الارتباطات تكون ضعيفة وخاصة عندما يكون الارتباط بين ذرات متباعدة (أي حوالي ١ أنجستروم). يترتب على ذلك أن ارتباط الإنزيم مع المادة المتفاعلة لابد أن يتطلب الاقتراب الشديد للجزيئين وبمساحة كبيرة تكفي لوجود عدد من هذه القوى الضعيفة للتجاذب. لابد لجزء المادة المتفاعلة أن يستقر في سطح مكمل من أسطح جزيء الإنزيم بطريقة تشبه إلى حد ما استقرار المفتاح في القفل (الشكل ٦-١٦).

ضرورة وجود تكامل complementarity في أشكال الإنزيم والمادة المتفاعلة قد تفسر التخصص specificity الدقيق لمعظم الإنزيمات. بصفة عامة يستطيع إنزيم معين أن يحفز تفاعل كيميائي واحد أو في أحسن الأحوال تفاعلات قليلة يكون للمتفاعلات بها نفس التركيب العام.

ضرورة حدوث اتحاد بين الإنزيم والمادة المتفاعلة تفسر أيضاً ظاهرة الإعاقة التنافسية



الشكل ٦-١٦. اتحاد إنزيم مع مادة تفاعله يعمل على إعادة ترتيب رابطة تساهمية أو أكثر من مادة التفاعل بتخفيض طاقة التنشيط اللازمة لكسر هذه الروابط.



الشكل ٦-١٧. (أ) رسم تخطيطي لفعل إنزيم سكسينيك دي هيدروجينيز على حامض السكسينيك. (ب) الاعاقة التنافسية للإنزيم بواسطة حامض المالونيك.

competitive inhibition. أحد الانزيمات اللازمة لإطلاق الطاقة داخل الخلايا هو السكسينيك دي هيدروجينيز succinic dehydrogenase. هذا الإنزيم يحفز أكسدة حامض السكسينيك بانتزاع ذرتي هيدروجين منه (الشكل ٦-١٧). الناتج من هذا التفاعل هو حامض الفيوماريك. إذا أضيف حامض المالونيك إلى الخلايا أو حتى إلى أنبوبة اختبار بها خليط من حامض السكسينيك والإنزيم فإن التأثير العادي للإنزيم يعاقب بدرجة كبيرة. ماذا حدث؟ تركيب حامض المالونيك يشبه تركيب حامض السكسينيك وهو يلتحم مع نفس الموقع على الإنزيم ولا يمكن أن تحدث أكسدة وبالتالي لا يكون هناك انطلاق سريع للنواتج. وعليه فكلما ارتبط جزيء من حامض المالونيك مع جزيء الإنزيم فإنه يمنع جزيء الإنزيم من الارتباط مع المادة المتفاعلة العادية وهي حامض السكسينيك. وتسمى هذه تنافسية لأنك إذا زدت تركيز حامض السكسينيك بالنسبة لتركيز حامض المالونيك فإنك تعيد سرعة الحفز إلى معدلها المعتاد تدريجياً. وفي الواقع فإنه عند نسبة ٥٠ : ١ من جزيئات حامض السكسينيك إلى جزيئات حامض المالونيك فإن المادتين تتنافسان بنفس الدرجة على موضع الارتباط الموجود بالإنزيم.

دليل مباشر على اتحاد مادة التفاعل مع الإنزيم هو عزل مثل هذا المركب المعقد. ولكن ذلك صعب للغاية بسبب الضعف الشديد للارتباط بينهما. على سبيل المثال إنزيم الكاتاليز catalase يحفز تحلل فوق أكسيد الهيدروجين إلى ماء وأوكسجين:



وهو يتحد مع  $\text{H}_2\text{O}_2$  ويحفز التحلل وتنطلق النواتج بسرعة حتى أن جزيئاً واحداً

يستطيع تكسير ٦, ٥ مليون جزيء من فوق أكسيد الهيدروجين في الدقيقة. إنزيم كربونيك أنهيدريز (وهو موجود في خلايا الدم الحمراء) يعمل بسرعة أكبر. فهو يحفز التفاعل:



ويستطيع معالجة ٣٦ مليون جزيء في الدقيقة.

السرعة العالية التي تعمل بها الإنزيمات هي ميزة مؤكدة للخلايا لأنها تمكن الخلية من العمل بكميات ضئيلة من كل إنزيم. وقد تكون الخلية الواحدة قادرة على أداء ما يقرب من ١٠٠٠ تفاعل كيميائي مختلف معظمها يتطلب الإنزيم الخاص به. وإن القدرة على إعادة استعمال الإنزيمات بسرعة هي التي تمكن الخلية من إستيعاب كل هذه الآليات المتباينة في هذا الحجم الصغير.

#### التفاعل بين الإنزيم ومادة التفاعل : مثال

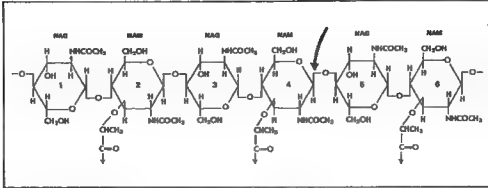
##### ENZYME SUBSTRATE INTERACTION : AN EXAMPLE

على الرغم من السرعة التي تعمل بها الإنزيمات فقد أمكن عزل مركبات معقدة من إنزيم ومادة تفاعل. في مثل هذه الحالات كانت الروابط التساهمية تربط بينهما وبالحجوة إلى حيل مناسبة أمكن منع تكسير هذه الروابط وهو عادة جزء من عملية الحفز.

ومن أجل توضيح التكامل الذي نعتقد أنه يوجد بين الأنزيم ومادة التفاعل لابد أن نعرف شكل كل منها بكل دقة. الإنزيمات - من حيث أنها بروتينات - هي جزيئات كبيرة جدا وتحديد تركيبها الثلاثي ( ثلاثي الأبعاد ) عملية شاقة للغاية ومع ذلك فإن التركيب الثلاثي لعدد من الإنزيمات بات معروفا. أحد هذه الإنزيمات هو الليسوزيم lysozyme.

قد تذكر أن الليسوزيم هو إنزيم موجود في بياض البيض وبعض إفرازات الجسم مثل الدموع وله تأثير قوي مضاد للبكتيريا لأن مادة التفاعل الخاصة به هي مادة عديدة السكر موجودة في الجدار الخلوي للبكتريا. هذه المادة البكتيرية عديدة السكر تتكون من سلاسل طويلة من سكرات سداسية وهذه الوحدات السكرية تشبه الجلوكوز إلا

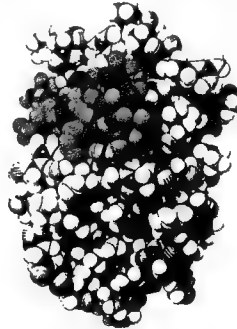




الشكل ٦-١٨ . تركيب عديد السكر المنشطر بالليسوزيم . الوحدات المتبادلة هي السكر الأميني NAG (ن - أسيتايل جلوكوز أمين) و NAM (حامض ن - أسيتايل ميوراميك) . الأسهم القصيرة تشير إلى نقاط الاتصال بالسلاسل المتجاورة من عديد السكر . سهم كبير يشير إلى الرابطة التي تنكسر بواسطة الليسوزيم .

من حيث وجود سلاسل جانبية تحتوي إحداها على النتروجين . ارتباط ما يسمى بالسكرات الأمينية يشبه الارتباط الذي يحدث في السيليلوز (الشكل ٦-١٨) .

إذا نظرت إلى نموذج الليسوزيم في الباب ٤ (الشكل ٤-٢٥) فسوف تلاحظ أن الجزء يكاد يكون كرويا فيما عدا الانخفاض العميق المين في الجانب الأعلى الأيسر . في هذا الانخفاض تسكن مادة تفاعل (الشكل ٦-١٩) . يمتلئ هذا الانخفاض بستة



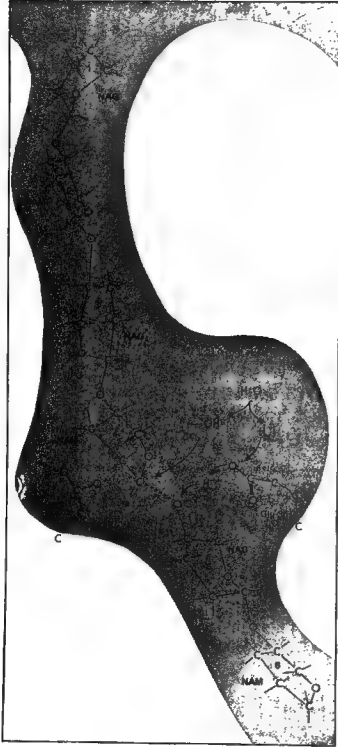
الشكل ٦-١٩ . نموذج ممتلئ الفراغ للليسوزيم المرتبط بمادة تفاعلة سداسية السكر (ملونة) . (النموذج من بناء دكتور جون أ. ريبلي ، بتصريح من إيرفنج جايس) .

ارتباطات من سلسلة عديدة التسكر أي بست وحدات سكرات أمينية . ومع كثرة ذرات الأكسجين في السكريات فهناك فرص عديدة للروابط الهيدروجينية . يحتمل أن تنشأ ١٤ رابطة هيدروجينية بين الوحدات الست من السكريات الأминية وبعض السلاسل الجانبية من الأحماض الأمينية مثل الأرجين (رقم ١٤) والأسباراجين (رقم ٣٧ ورقم ٤٤) والتربتوفان (رقم ٦٢ ورقم ٦٣) وحامض الأسبارتيك (رقم ١٠١) وكذلك مع مجموعات  $C = O$  الموجودة في العديد من الروابط البيديية . بالإضافة إلى ذلك فقد تساعد التجاذبات الكارهة للماء على حفظ مادة التفاعل في مكانها .

وقد كشف التحليل البللوري بالأشعة السينية عن ميزتين هامتين للترابط بين الليسوزيم ومادة تفاعله . فعندما يتحدان يتغير شكل كل منهما قليلا . وحدة السكر السداسي الرابعة (الحلقة رقم ٤ - أنظر الشكل ٦-٢٠) تلتوي فيتغير شكلها عن المؤلف ومن المعتقد أن ذلك يتسبب في وقوع ضغط على الرابطة  $C-O$  الموجودة في الحلقة رقم (٤) من ناحية ذرة الأكسجين الموجودة بين الحلقتين (٤) و (٥) . هذا إكتشاف مثير لأن هذا بالتحديد هو المكان الذي يتمياً عنده عديد التسكر حيث يدخل جزء ماء بين هاتين الوحدتين من السكر السداسي وتنقطع السلسلة . هنا إذن مثال واقعي لما نعينه بقولنا أن الانزيمات تخفض من طاقة التنشيط . فالطاقة المطلوبة لكسر هذه الرابطة قد انخفضت بالتأكيد عندما إنحرفت الذرات المتصلة بهذه الرابطة عن مواضعها العادية .

أما فيما يخص جزء الليسوزيم نفسه فإن ترابط مادة التفاعل معه تتسبب في حركة ضئيلة (حوالي ٧٥,٠ وحدة أنجستروم) لبعض وحدات الأحماض الأمينية مما يجعل الانخفاض يطبق قليلا على مادة التفاعل وعلى ذلك نجد أن القفل تماما مثل المفتاح يغير من شكله قليلا عندما يقترب كل منهما من الآخر . ويعتقد بعض علماء الكيمياء الحيوية أنه كلما إرتبطت مادة تفاعل مع إنزيمها فانها تدخل بعض التغير الشكلي في تركيب الإنزيم .

فحص وحدات الأحماض الأمينية بالقرب من الحلقتين (٤) و (٥) يعطينا تفسير مقبول لاكتال النشاط الانزيمي . الوحدة رقم (٣٥) (حامض الجلوتاميك Glu) تبعد عن الجسر - ٥ - المطلوب كسره بحوالي ٣ وحدات أنجستروم وبمجموعة



الشكل ٦-٢٠. الآلية المحتملة للنشاط الحفاز لليوسيزيم. الارتباط بمادة التفاعل يسبب توتر بين الحلقات (٤)، (٥). الوحدة رقم (٣٥) من جزئ الانزيم (حامض الجلوتاميك) تعطي بروتون للذرة الأكسجين بين الحلقات وذلك يكسر الرابطة بينها وبين ذرة الكربون في الحلقة (٤). ذرة الكربون وقد أصبحت موجبة الشحنة تستقر (بالتجاذب مع حامض الأسبارتيك ٥٢) لفترة تكفي لاتصالها مع مجموعة الهيدروكسيل وهذه الطريقة تنكسر السلسلة بإدخال جزئ ماء كمشال للتميؤ. تتحرر النواتج من الانزيم ويمكن تكرار العملية.

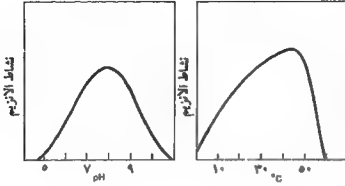
الكربوكسيل الحرة في حامض الجلوتاميك تعطي بروتونات ويمكنها أن تنقل بروتونها إلى ذرة الأكسجين وهذا يمكن أن يؤدي إلى كسر الرابطة الواقعة فعلا تحت ضغط بين ذرة الأوكسجين وذرة الكربون بالحلقة رقم (٤) (الشكل ٦-٢٠). الآن وقد فقدت ذرة الكربون إليكترون فانها تكتسب شحنة موجبة والكربون المتأين عادة يكون غير مستقر للغاية ولكن تجاذب أيون الكربوكسيل سالب الشحنة من الوحدة رقم (٥٢) (حامض الأسبارتيك) يمكن أن يجعله مستقراً لفترة تكفي لاتحاده مع أيون  $\text{OH}^-$  (من جزيء ماء متحلل تلقائياً) - تذكر أنه حتى عند الأس الهيدروجيني (٧) فإن الماء يتحلل تلقائياً ليعطي  $10^{-7}$  مول من أيونات  $\text{H}^+$  و  $\text{OH}^-$ . البروتون المتبقي ( $\text{H}^+$ ) يمكن أن يحل محل البروتون الذي فقدته الوحدة رقم (٣٥) Glu.

الآن إكمال التفاعل : إنكسرت السلسلة وانفصلت القطعتان عن الانزيم والانزيم أصبح حراً يلتصق بوضع جديد على الجدار الخلوي للبكتيريا ويعاود نشاطه . وبهذه الطريقة يتحلل الجدار الخلوي للبكتيريا .

### متطلبات النشاط الفعال للانزيم

#### REQUIREMENTS FOR EFFECTIVE ENZYME FUNCTIONING

يتأثر نشاط الانزيم كثيراً بالتغير في درجة الحرارة وفي الأس الهيدروجيني وكل إنزيم يعمل بكل كفاءة عند درجة حرارة معينة وأس هيدروجيني معين وتتناقص هذه الكفاءة عند قيم أعلى أو أقل من هذه النقطة (الشكل ٦-٢١) . إنزيم الببسين pepsin الذي يهضم البروتينات يعمل بكل كفاءة عند أس هيدروجيني من (١) إلى (٢) بينما يكون إنزيم بروتوليتي (هاضم للبروتين) آخر وهو التريسين trypsin غير فعال بالمرة عند هذا الأس الهيدروجيني ويعمل بكفاءة عند أس هيدروجيني (٨) . والآن وقد فهمنا : (١) الدور الأساسي الذي يلعبه التركيب الثلاثي ، أي الشكل في نشاط الانزيم (٢) الدور الأساسي الذي تلعبه تلك القوى الضعيفة مثل الروابط الهيدروجينية والروابط الأيونية في تحديد التركيب الثلاثي فانه يمكننا أن نفهم لماذا تكون الانزيمات حساسة لدرجة الحرارة وللأس الهيدروجيني . فالروابط الهيدروجينية تنكسر بسهولة بارتفاع درجة الحرارة وهذا بدوره قد يؤدي إلى تغير في أجزاء من التركيب الثلاثي للانزيم التي تكون أساسية للارتباط مع مادة التفاعل . كذلك فان التغيرات في الأس الهيدروجيني تغير من



الشكل ٦-٢١. تأثير الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة على نشاط إنزيم وهمي. الجزء الصاعد من المنحنى درجة الحرارة يعكس التأثير العام لدرجات الحرارة المتزايدة على معدل التفاعلات الكيميائية (أنظر الشكل ٦-١٥). الجزء الهابط من المنحنى يعكس الفقد في النشاط الحفاز حيث تتخثر جزيئات الإنزيم عند درجات الحرارة العالية.

حالة التأين للأحماض الأمينية ذات الشحنات (مثل حامض الأسبارتيك واللايسين) والتي قد تلعب دوراً حاسماً في الارتباط مع مادة التفاعل أو في عملية الحفز ذاتها أو في كليهما معاً. فبدون مجموعة الكربوكسيل  $\text{COOH}$ - غير المتأينة من  $\text{Glu} - 35$  ومجموعة الكربوكسيل المتأينة  $\text{COO}^-$  من  $\text{Asp} - 52$  فإن النشاط الحفزي للإنزيم لا يتوقف.

هناك إنزيمات عديدة لا تعمل إلا في وجود مادة إضافية غير بروتينية تسمى العامل المساعد  $\text{cofactor}$ . والعوامل المساعدة قد تكون أيون معدني مثل  $\text{Zn}^{++}$  (وهو المرافق الإنزيمي للكربونيك أنهيدرين).  $\text{Cu}^{+}, \text{Mn}^{++}, \text{Mg}^{++}, \text{K}^{+}, \text{Fe}^{++}, \text{or Na}^{+}$ .

وقد يكون المرافق الإنزيمي جزء عضوي صغير ويسمى المرافق الإنزيمي  $\text{coenzyme}$ . على سبيل المثال مجموعة فيتامينات ب (مثل الثيامين ب - ١ والريبوفلافين ب - ٢) والنيكوتيناميد) تعمل كمرافقات إنزيمية وقد ترتبط المرافقات الإنزيمية بقوة (أي تساهمياً) بالجزء البروتيني من الإنزيم كمجموعة فعالة  $\text{Prosthetic group}$ . والبعض الآخر قد يكون إرتباطه بالإنزيم ضعيفاً بل قد يرتبط بالإنزيم فقط في لحظة قيامه بالنشاط الحفزي.

## ٦-١٠. تنظيم عمل الإنزيمات REGULATION OF ENZYMES

بالنظر إلى العدد الكبير من الإنزيمات الموجودة في الخلية فإن التساؤل يثور حول كيفية تنظيم نشاط هذه الإنزيمات. هناك عدة آليات تلعب دوراً في كفاءة وتنسيق عمل الإنزيمات داخل الخلية.

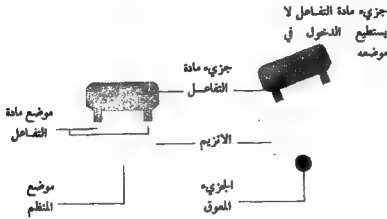
بالنسبة لتلك الانزيمات مثل البروتينيزات التي تستطيع مهاجمة مادة الخلية نفسها فإنه يتم تثبيط نشاطها أثناء وجودها داخل الخلية. فمثلا الانزيم البروتينيزي ببسين يتم تصنيعه داخل الخلية في صورة غير فعالة تسمى الببسينوجين pepsinogen ولا ينفصل الجزء من جزيء الانزيم المثبط لنشاطه إلا عندما يتعرض لظروف الأس الهيدروجيني المنخفض خارج الخلية وبذلك يتج الببسين النشط. الانزيمات الأخرى التي قد يكون لها نشاط هدام يتم حصرها في الليزوزومات (القسم ٥-١٠) وبذلك تنعزل عن بقية الخلية.

العديد من إنزيمات الخلية لا تستطيع التحرك بحرية داخل الخلية ولكن بدلا من ذلك يتم ترتيبها في أنساق محددة. فالانزيمات الموجودة داخل الميتوكوندريا وفي البلاستيدات الخضراء تبدو منظمة فراغيا بالطريقة التي تجعلها تتفاعل بأعلى كفاءة. ومن المحتمل أن تكون جزيئات الانزيمات المنظمة فراغيا موجودة كذلك على غشاء الخلية وعلى أغشية الشبكة الاندولازمية.

نشاط الانزيمات داخل الخلية يكون محكوما أيضا بالحاجة إليها. فإذا بدأ أحد نواتج سلسلة من التفاعلات الانزيمية (حامض أميني مثلا) في التراكم داخل الخلية فإنه يعيق بالتحديد عمل أول إنزيم مشترك في تخليقه (الشكل ٦-٢٢). وهكذا يتوقف مؤقتا إنتاج المزيد من هذا الحامض الأميني. هذه الظاهرة تسمى الإعاقة الرجعية feedback inhibition ومن ناحية أخرى فإن تراكم مادة داخل الخلية قد يحدث تنشيط بالتحديد للانزيم الذي يبدأ تتابع من التفاعلات تكون هذه المادة هي مادة التفاعل الابتدائية



الشكل ٦-٢٢. أليتان إنزيمات لتنظيم تركيزات المواد الأيضية في الخلية. تراكم مادة التفاعل (A) ينشط الإنزيم (d) فيجر للمادة (A) إلى الدورة الأيضية. تراكم الناتج (E) يوقف نشاط الإنزيم (a) فيعيق تخليق المزيد من المادة (E).



الشكل ٦-٢٣. الآلية المحتملة للإعاقة الرجعية. في حالة تنشيط المادة البادئة يسمح الجزيء المنظم لمادة التفاعل بالارتباط مع موضعها. في كلتا الحالتين فإن الجزيء المنظم يغير من قابلية الانزيم لمادة تفاعلة ربما من خلال تغيير شكل الإنزيم. مثل هذا التأثير يسمى بالتأثير الفراغي المغاير.

لها (الشكل ٦-٢٢). هذا النشاط (الذي يسمى بتنشيط المادة البادئة-precursor activation) يحتل تركيز مادة التفاعل الابتدائية إلى المستويات العادية.

لاحظ أنه في كلتا هاتين الحالتين كان النشاط الانزيمي محكوماً بإدانة ليست هي مادة تفاعلة. وقد نتوقع أن الجزيء المنظم لنشاط الانزيم عليه أن يرتبط بالانزيم حتى يؤثر على أدائه لوظيفة وهذا ما يحدث بالفعل. ومن المثير للاهتمام أن موضع ارتباط الجزيء المنظم ليس هونفس الموضع الذي ترتبط به مادة التفاعل. ومع ذلك فإنه عندما يرتبط الجزيء المنظم بموضعه فإنه يغير من شكل الانزيم بطريقة تجعل نشاطه يتغير. هذا التفاعل بين المواضع المنظمة والمواضع الحفازة الذي ينشأ عن التغير في شكل الانزيم يسمى بالتأثير الفراغي المغاير allosteric effect. في حالة الإعاقة الرجعية يظهر التأثير الفراغي للجزيء المنظم بحيث تنخفض قابلية الانزيم لمادة التفاعل. وفي حالة تنشيط المادة البادئة يحدث العكس. التأثير الفراغي المغاير للجزيء المنظم يزيد من قابلية الانزيم الأخير في السلسلة لمادة تفاعلة (الشكل ٦-٢٣).

الآليات سابقة الذكر تضمن أن نشاط الانزيمات الموجودة في الخلية يكون منظماً. ماذا عن الانزيمات التي لا يكون هناك أي حاجة إليها بالمرّة أو تلك التي يكون هناك حاجة إليها ولكنها غير موجودة ؟ هنا كذلك توجد ضوابط دقيقة. هذه تنظم معدل

تخليق إنزيمات جديدة . فمثلا إذا حدث إمداد للخلية بكميات زائدة من حامض أميني من السائل المحيط بها فان تخليق جميع الانزيمات التي تستعملها الخلية عادة في إنتاج هذا الحامض الأميني لنفسها يتوقف . وبذلك ترفع الخلية من كفاءتها بعدم إنتاج الانزيمات التي لا تحتاج إليها . وبالعكس إذا توفرت للخلية مادة تفاعل جديدة فانها تحت تخليق الانزيمات اللازمة للتعامل معها . خلايا الخميرة عادة لاتقوم بتخمير السكر الثنائي لانتوز وعادة لايمكن الكشف عن وجود إنزيم اللاكتيز في خلاياها . ومع ذلك إذا نمت خلايا الخميرة على محلول يحتوي على اللاكتوز فانها تبدأ في إنتاج اللاكتيز ويتم فيها أيض هذا السكر .

في تلك الحالات التي يكون فيها تخليق الانزيمات منظما فانه من الواضح أن هذا التنظيم يعمل من خلال الضوابط الوراثية الموجودة في شفرة الحامض DNA بالنواة . سوف نتعرض في أبواب لاحقة للآليات التي يبدأ ويتوقف بها فعل أجزاء من الشفرة الوراثية إستجابة لاحتياجات الخلية .

من الواضح أن هذه الضوابط تعمل معاً على إستقرار مستويات مواد التفاعل ونواتج التفاعل في الخلية وفي تناسق مع الاحتياجات المتغيرة للخلية سواء كانت هذه الضوابط تؤثر على الانزيمات الموجودة فعلا في الخلية أو على معدل تخليق إنزيمات جديدة .

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

كل خلية تعتمد في وجودها على خواص السائل المحيط بها . وتدخل المواد إلى الخلية وتخرج منها بعدة آليات مختلفة .

١ - الانتشار Diffusion . يحدث عندما تنتقل الجزيئات أو الأيونات في اتجاه فرق تركيزها . بعض الخلايا تستطيع زيادة نفاذية أغشيتها لجزيئات أو أيونات معينة فيحدث الانتشار الميسر .

٢ - الأوزموزية Osmosis . الأوزموزية هي إنتشار الماء . فللماء النقي ناقص التوتر بالنسبة لسيترولازم جميع الخلايا ولا بد للخلايا وللكائنات المعرضة للماء العذب من بعض التكيف لمنع انفجارها نتيجة للأوزموزية . ماء البحر زائد التوتر بالنسبة لسيترولازم العديد من الخلايا ولا بد للكائنات البحرية من التكيف لمنع فقدانها للماء .



- ٣ - النقل النشط Active transport . بعض الجزيئات تستطيع التحرك عبر أغشية الخلية ضد اتجاه فرق تركيزها اذا توفر لها انزيم النقل المناسب ومصدر الطاقة .
- ٤ - الابتلاع داخل السيتوبلازم Endocytosis . العديد من الخلايا تبتلع المواد الموجودة في السائل المحيط بها بتكوين جيوب في غشاء الخلية ثم فصمها عن الغشاء .
- ٥ - الطرد خارج السيتوبلازم Exocytosis . بعض الخلايا تتخلص من المواد الموجودة في مثانات تحدها أغشية عن طريق التحام هذه المثانات مع غشاء الخلية .

تحدث عدة مشات من التفاعلات في الخلايا . في معظم الحالات لا تكون كمية الطاقة الحرة المختزنة في النواتج مساوية لتلك الموجودة في المواد الداخلة في التفاعل . والفرق بينها يأخذ الرمز  $\Delta G$  . التفاعلات التي تطلق طاقة حرة ( $\Delta G$  -) يمكن أن تستمر تلقائياً . التفاعلات ذات  $\Delta G$  + تتطلب إمدادها بالطاقة . النباتات الخضراء تستخدم طاقة الشمس للقيام بالتفاعلات ذات  $\Delta G$  + جميع الكائنات تستطيع القيام بالتفاعلات ذات  $\Delta G$  + عن طريق ربطها بتفاعل تنطلق منه طاقة ( $\Delta G$  -) .

كل تفاعل كيميائي داخل الخلية يحفزه إنزيم . ليس للإنزيمات أي تأثير على  $\Delta G$  لأي تفاعل كيميائي ولكنها تجعل التفاعل يحدث بصورة أوسع عن طريق خفض طاقة التنشيط اللازمة للمواد المتفاعلة .

الإنزيمات تخفض طاقة التنشيط للتفاعل من خلال إرتباطها ( عادة لا تساهمياً ) مع واحدة على الأقل من المواد المتفاعلة (تسمى مواد التفاعل) .

جميع الانزيمات بروتينات . والعديد من الإنزيمات يتطلب وجود جزيئات غير بروتينية ( مرافقات إنزيمية ) أو أيونات كي تؤدي عملها . بعض المرافقات الإنزيمية ترتبط تساهمياً مع الإنزيم كمجموعة فعالة . نشاط الإنزيم على مادة تفاعله يكون محكوماً عليه بجزيئات أخرى ترتبط بموضع مختلف ( فراغي مغاير ) على جزيء الإنزيم .

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - صف ثلاث طرق لدخول المواد إلى الخلايا المبطننة للأمعاء الانسان .
- ٢ - بعد أن يبلغ المولاس أقصى ارتفاع له (أنظر الشكل ٦-٤) ماذا يحدث؟ ولماذا؟
- ٣ - أيهما يكون له ضغط أوزموزي أعلى : محلول ١ مولار من الجلوكوز أم محلول ١ مولار من الملح ؟ ولماذا؟
- ٤ - ماذا يمكن أن يحدث عند وضع كل من خلايا الدم الحمراء وخلايا نباتية وأميبا في ماء مقطر؟ إشرح.
- ٥ - ماذا يمكن أن يحدث عند وضع كل من خلايا الدم الحمراء وخلايا نباتية في ماء البحر؟ إشرح.
- ٦ - ماذا يمكن أن يحدث عند وضع الأميبا في محلول متعادل الأوزموزية؟
- ٧ - إذا أطلق واحد مول (٢٨ جم) من جزيئات النتروجين ( $N_2$ ) و واحد مول (٢٨ جم) من جزيئات الايثيلين ( $CH_2 CH_2$ ) على جانبي حاجز يقسم غرفة إلى جزئين متساويين ثم رفع الحاجز فهل تعتقد أن إنتشار الجزيئات سوف يحدث؟ اشرح.

## REFERENCES

## المراجع

- 1- HOLTER, H., "How Things get into Cells", Scientific American, Offprint No. 69, September, 1961. An excellent review of the forces of passive and active transport across cell membranes.
- 2- SATIR, BIRGIT, "The Final Steps in Secretion", Scientific American, Offprint No. 1328, October, 1975. On exocytosis.
- 3- PHILLIPS, D. C., "The Three - Dimensional Structure of an Enzyme Molecule, "Scientific American, Offprint No. 1055, November, 1966. Describes how the shape of the enzyme lysozyme was worked out and how this shape accounts for the antibacterial action of the enzyme.
- 4- CHANGEUX, J.-P., "The Control of Biochemical Reactions", Scientific American, Offprint No. 1008, April, 1965.
- 5- HOLLAWAY, M.R., The Mechanism of Enzyme Action, Oxford Biology Readers, No. 45, Oxford University Press, Oxford, 1976.
- 6- STROUD, R.M., "A Family of Protein - Cutting Proteins", Scientific American, Offprint No. 1031, July, 1974. Describes the mechanism of action of several proteases.
- 7- KOSHLAND, D.E., JR., "Protein Shape and Biological Control", Scientific American, Offprint No. 1280, October, 1973. The importance of allosteric interactions.



## CHAPTER 7

## الباب السابع

### انطلاق الطاقة في الخلية

### ENERGY RELEASE IN THE CELL

ANABOLISM AND CATABOLISM	١-٧ . البناء والهدم
GLYCOLYSIS	٢-٧ . الجلوكزة
ATP AND NAD	٣-٧ . أ ت ب و ن أ د
GLYCOLYSIS : PRIMING THE PUMP	٤-٧ . الجلوكزة : شحن المضخة
GLYCOLYSIS : THE FIRST OXIDATION	٥-٧ . الجلوكزة : الأكسدة الأولى
LACTIC ACID FERMENTATION	٦-٧ . تخمر حامض اللاكتيك
ALCOHOLIC FERMENTATION	٧-٧ . التخمر الكحولي
CELLULAR RESPIRATION	٨-٧ . التنفس الخلوي
THE CITRIC ACID CYCLE	٩-٧ . دورة حامض الستريك
THE RESPIRATORY CHAIN	١٠-٧ . السلسلة التنفسية
COUPLING ELECTRONIC TRANSPORT TO THE SYTHESIS OF ATP	١١-٧ . ازدواج النقل الاليكتروني مع تخليق أ ت ب .
THE RESPIRATION BALANCE SHEET : MATERIALS	١٢-٧ . صحيفة الرصيد التنفسي : المواد
THE RESPIRATION BALANCE SHEET : ENERGY	١٣-٧ . صحيفة الرصيد التنفسي : الطاقة

THE STORAGE BATTERY OF LIFE	بطارية التخزين الحيوية	١٤-٧
WHAT ABOUT OTHER FUELS	ماذا عن أنواع الوقود الأخرى؟	١٥-٧
CONTROL OF CELLULAR RESPIRATION	التحكم في التنفس الخلوي	١٦-٧
	كيف تم التوصل إلى هذه الاكتشافات؟	١٧-٧
HOW THESE DISCOVERIES WERE MADE		
THE USES OF ENERGY	إستخدامات الطاقة	١٨-٧
MECHANICAL WORK	الشغل الآلي	
ACTIVE TRANSPORT	النقل النشط	
HEAT PRODUCTION	إنتاج الحرارة	
ANABOLISM	البناء	
ANABOLISM	البناء	١٩-٧
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب	
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل	
REFERENCES	المراجع	

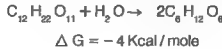
## الباب السابع

### انطلاق الطاقة في الخلية

جميع الكائنات تتطلب مدداً مستقراً من المواد والطاقة من البيئة حتى تستمر على قيد الحياة. وبالنسبة للكثير منهم يأتي المصدر الرئيسي للمادة والمصدر الوحيد للطاقة من الجزئيات العضوية التي تتغذى عليها. التغذية المعتمدة بالكامل على جزئيات عضوية سابقة التجهيز تسمى تغذية شاذة heterotrophic والكائنات التي تتغذى بهذه الطريقة تعرف بالكائنات شاذة التغذية heterotrophs الكائنات الدقيقة غير المحتوية على الكلوروفيل (مثل بكتريا القولون *E. coli*) والنباتات القليلة غير الخضراء وجميع الحيوانات شاذة التغذية.

عادة ما تتكسر المواد الغذائية الصلبة إلى جزئيات أصغر نسبياً وقابلة للذوبان قبل أن تستطيع الخلايا الاستفادة منها. عملية التكسير تسمى الهضم Digestion وهي ببساطة عبارة عن التميؤ الانزيمي لكل من : (١) عديدات السكر (مثل النشويات) إلى سكريات (٢) البروتينات إلى أحماض أمينية (٣) الدهون إلى أحماض دهنية وجليسرول (٤) الأحماض النووية إلى نيوكليوتيدات. في كل حالة تدخل جزئيات الماء بين الوحدات فتفصلها عن بعضها ومن هنا جاءت التسمية بالتميؤ (أو التحليل المائي) : hydrolysis.

ينطلق قدر ضئيل جداً من الطاقة بواسطة التميؤ. فتميؤ السكر الشائي مالتوز إلى جزيئين من الجلوكوز ينتج ٤ كيلو سعر فقط من الطاقة الحرة :



معظم الطاقة الحرة المخزنة في النشويات والبروتينات والدهون مازالت حبيسة في نواتج مضمها : السكريات والأحماض الأمينية والأحماض الدهنية والجليسول. ومع ذلك فإن عملية المضم تختزل حجم الجزيئات بحيث يسهل امتصاصها من السائل المحيط بالخلية الى سيتوبلازم الخلية.

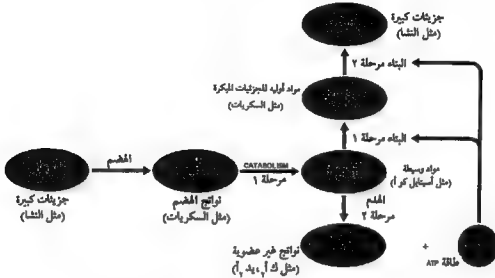
## ANABOLISM AND CATABOLISM

### ١-٧ البناء والهدم

ما هو مصير هذه الجزيئات العضوية الصغيرة بمجرد دخولها الخلية ؟ عادة يتم إختزال حجمها لتكوين جزيئات أبسط تحتوي غالباً من ٢ إلى ٤ ذرات كربون. هذه الجزيئات الصغيرة عليها أن تواجه أمرين (الشكل ١-٧). فهي قد تواصل الصعود في مسارات أيضية مختلفة وتعمل كوحدات بناء للسكريات أو الأحماض الدهنية والجليسول أو الأحماض الأمينية. ومن هذه يمكن تجميع المكونات ذات الجزيئات الكبيرة بالخلية : عديدات السكر والليبيدات والبروتينات وحتى الأحماض النووية. مرحلة الأيض التي يتم فيها بناء جزيئات كبيرة معقدة من جزيئات أبسط صغيرة تسمى بالبناء anabolism. المصير الآخر للجزيئات ثنائية أو رباعية الكربون في الخلية هو الاستمرار في تكسرها حتى تصل في النهاية إلى جزيئات بسيطة غير عضوية مثل  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  (الشكل ١-٧). الكمية الاجمالية للطاقة المخزنة في النواتج النهائية لهذه العمليات التأكسرية أقل بكثير مما كان موجوداً في الجزيئات الأصلية. وعلى ذلك تنطلق الطاقة أثناء هذه الخطوات التأكسرية. هذه المرحلة من الأيض حيث تنكسر جزيئات معقدة نسبياً وغنية بالطاقة إلى جزيئات أبسط وفقيرة في الطاقة تسمى الهدم Catabolism.

تحتوي نواتج التفاعلات البنائية على طاقة أكثر مما في المواد المتفاعلة. بعبارة أخرى فإنه لكي يتحول جزء ثنائي الكربون مثل acetyl-CoA (الشكل ١-٧) إلى حامض دهني به ١٦ ذرة كربون يتطلب إدخال طاقة تماماً كما كان التحليل الكهربائي للماء يتطلب طاقة. قيمة  $\Delta G$  في كل حالة تكون موجبة. وبأسلوب آخر فإن هذه التفاعلات لا يمكن أن تتم تلقائياً. ف سواء كانت هناك عوامل حفازة أم لا فإن كل التفاعلات الكيميائية تتم تلقائياً فقط في الاتجاه الذي ينتج طاقة حرة أي عندما تكون قيمة  $\Delta G$  سالبة (إرجع الى الشكل ٦-١٤) كيف يمكن إذن للبناء أن ينجح ؟ السر





الشكل ٧-١. مسارات الأيض. الغذاء المأكول يتحلل إلى جزيئات عضوية بها ٢-٤ ذرات كربون. هذه الجزيئات يمكن هدمها للحصول على الطاقة للخلية أو يمكن إستخدامها كوحدات بناء في تخليق الجزيئات الكبيرة في الخلية.

يمكن في ازدواج تفاعل هدمي بإلته من قيمة  $\Delta G$  سالبة مع تفاعل بنائي ذو قيمة موجبة. ولأننا لاناكمل في تحقيق كفاءة شبه تامة فانه علينا أن نختار تفاعلات هدمية تطلق من الطاقة أكثر مما تحتاجه التفاعلات البنائية.

ربما كان أكثر أنواع الوقود إستعمالاً في الخلايا الحية هو الجلوكوز. في الباب (٦) رأينا أن الاحتراق الكامل للجلوكوز ينتج ثاني أكسيد الكربون والماء كنواتج نهائية ويطلق ٦٨٦ كيلو سعر من الطاقة الحرة. ولكن في هذا التفاعل ينطلق معظم هذه الطاقة الحرة في الحال كحرارة. الانتاج المتواضع للحرارة مناسب لتدفئة الخلايا ولكنه عديم الفائدة في دفع التفاعلات الكيميائية البنائية. على الخلية أن تجد الوسيلة لتحويل الطاقة الموجودة بالجلوكوز إلى طاقة حرة بجزيئات أخرى تحتاجها مثل حامض أميني وعلى ذلك فان إستراتيجية الخلية هي هدم جزيء الجلوكوز بطريقة لا تفقد خلالها كل الطاقة الحرة المنطلقة في صورة حرارة. والخطوة هي أن تتقدم الخلية بخطوات صغيرة ثابتة بحيث تزدوج  $\Delta G$  بكفاءة مع الاحتياجات البنائية للخلية (والاحتياجات الأخرى المعتمدة على الطاقة). تهدم الخلايا الحية الجلوكوز بحيث تنتج خطوة واحدة على الأقل (ويفضل عدة خطوات) طاقة حرة تكفي لتخليق جزيء من ATP. القصة الرئيسية في

هذا الباب هي كيف يحدث ذلك .

## GLYCOLYSIS

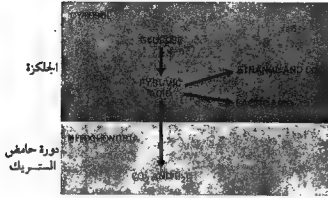
## ٧-٢ الجلوكزة

إحتراق الجلوكوز يتطلب أوكسجين ولكن بعض الخلايا تعيش حيث لا يوجد أوكسجين أو لا يكون متاحا طول الوقت . على سبيل المثال خلية الخميرة في زجاجة شمبانيا مغلقة ليس لها سبيل للحصول على الأوكسجين . هناك أسباب قوية تدعو إلى الاعتقاد بأن الخلايا عاشت على هذا الكوكب في جو خال من الأوكسجين . فإذا كان الأمر كذلك فإنها أيضا كان عليها أن تواجه مشكلة إستخلاص الطاقة من الوقود بدون وجود الأوكسجين . وعلى أي حال فقد إحتفظت جميع الخلايا الآن بالقدرة الانزيمية على هدم الجلوكوز بدون مساعدة الأوكسجين . التكسير اللاهوائي anaerobic (بدون هواء وبالتالي بدون أوكسجين) للجلوكوز يسمى الجلوكزة (أو التحليل الجليكوزي) glycolysis. خلية الخميرة في زجاجة الشمبانيا تستغل الجلوكزة في الحصول على الطاقة التي تحتاجها والنواتج هي الايثانول (الكحول الايثيلي) وثاني أكسيد الكربون ونحن نسمى هذه العملية بالتخمير الكحولي alcoholic fermentation. والخلية العضلية المجهدة أيضا تستغل الجلوكزة لتغطية إحتياجاتها من الطاقة والناتج النهائي في هذه العملية هو حامض اللاكتيك lactic acid . ونحن نسمى العملية بتخمير حامض اللاكتيك . ولكن معظم الخلايا تستطيع إستخدام الأوكسجين في هدم الجلوكوز والنواتج النهائية هنا هي ثاني أكسيد الكربون (وحصيلة الطاقة الحرة هي نفسها : ٦٨٦ كيلو سعر / مول) . هذه العملية تسمى التنفس الخلوي cellular respiration ولكن حتى عندما تكون الخلايا قادرة على تنفس الجلوكوز بدلا من تخمره فإن الخطوات الاولى مازالت هي نفسها : خطوات الجلوكزة (الشكل ٧-٢) .

يحدث تكسير الجلوكوز كسلسلة من ١١ تفاعل متتابع تحفزها الانزيمات (١٢) في الخميرة) . هذه الانزيمات توجد ذاتية في السائل الخلوي cytosol . بالإضافة إلى الانزيمات هناك مراقبين إنزيمين في غاية الأهمية هما أ. ت . ب . ون . أ . د

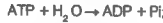
## ٧-٣ . أ . ت . ب . ون . أ . د . ATP AND NAD

أ . ت . ب . هي إختصار أدينوزين تراي فوسفات (أدينوزين ثلاثي الفوسفات)



الشكل ٧-٢. الجلوكزة هي انتاج حامض البيروفيك من الجلوكوز. الانزيمات اللازمة للجلوكزة توجد في السائل الخلوي. تحت الظروف اللاهوائية قد يتخمر حامض البيروفيك لتكوين نواتج مثل حامض اللاكتيك (كما في العضلات المجهدة) أو الايثانول وثاني أكسيد الكربون (كما في زجاجة الشمبانيا). اذا كان الأكسجين متوفر يدخل حامض البيروفيك الى الميتوكوندريا حيث يتأكسد بالكامل بواسطة انزيمات دورة حامض الشريك. هذه العملية تسمى التنفس الخلوي.

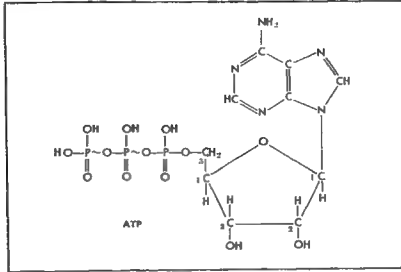
وهي نيوكليوتيدة سكرها الخماسي هو الرايبوز والقاعدة النروجينية هي الأدينين (الشكل ٣-٧). وتتصل ثلاث مجموعات فوسفات بذرة الكربون رقم ٥ من الرايبوز. تعرف الروابط بين مجموعة الفوسفات الثانية والثالثة وكذلك بين الأولى والثانية بأنها روابط عالية الطاقة وهي تسمى كذلك بسبب الكمية الكبيرة من الطاقة الحرة التي تنطلق عند كسرها بالتمويه. تحت الظروف السائدة في الخلايا يصعب تقدير الكمية المنطلقة من الطاقة بدقة وسوف نعتبر أن هذه الكمية هي ٧,٣ كيلو سعر / مول (وان كان من المحتمل أن يكون ذلك تقدير فيه تحفظ). وبذلك يمكن التعبير عن هذا التميوه كالآتي:



$$\Delta G = -7.3 \text{ Kcal.}$$

ADP هو الأدينوزين ثنائي الفوسفات adenosine diphosphate أما  $\text{P}_i$  فهي الفوسفات اللاعضوية وهي أيضا حامض الفوسفوريك المبين هنا وقد فقد إثنين من بروتوناته الثلاثة).

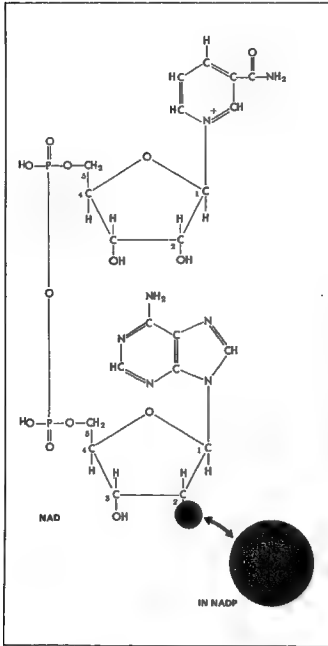




الشكل ٣-٧. الصيغة التركيبية لمادة ATP وهي مادة شديد الحموضة. تحت الظروف الموجودة في الخلية (أس هيدروجيني حوالي ٧) تنتزع البروتونات الأربعة الملونة تاركة ٤ ذرات أوكسجين سالبة الشحنة (-O-) هذه تجذب الأيونات موجبة الشحنة في الخلية مثل  $Mg^{++}$  الروابط التي تصل مجموعة الفوسفات الطرفية وقبل الطرفية تعطى كمية كبيرة من الطاقة عندما تنمياً. لهذا السبب غالباً تسمى روابط «عالية الطاقة» وترسم بخطوط متموجة.

من المهم هنا أن نلاحظ أنه عند إستعمال الوصف «عالية الطاقة» بالنسبة لهذه الروابط فإننا لانقصد طاقة الروابط وهو الموضوع الذي ناقشناه بالتفصيل في الباب (٣) ولكن هذا الوصف يعني ببساطة أن نواتج تحيؤ هذه الروابط المسماة بعالية الطاقة لهم طاقة حرة أقل بكثير مما لمواد التفاعل. إذن في الحقيقة فإن هذه الروابط ضعيفة ولها طاقة روابط قليلة. ومع ذلك فإن مبدأ الروابط عالية الطاقة في ATP (وفي ADP) قد ترسخ تماماً لذلك سوف نحافظ عليه. وفي كل الرسوم التوضيحية سوف نتبع ما إصطلح عليه من رسم هذه الروابط بخطوط متموجة (الشكل ٣-٧).

ن. أ. د. NAD هو nicotinamide adenine dinucleotide وكما هو واضح من الاسم فإنه في الواقع عبارة عن نيوكليوتيدتين مرتبطتين تساهمياً. إحداهما هي الأدنينوزين أحادي الفوسفات أي رايبوز مع أدنين مرتبط بذرة الكربون رقم ١. وفوسفات مرتبطة مع ذرة الكربون رقم ٥. (الشكل ٧-٤). الثانية هي ريبونيكليوتيدة القاعدة النتروجينية بها هي النيكوتيناميد متصلة بذرة الكربون رقم ١. وبمجموعة فوسفات متصلة بذرة الكربون ٥.



## الشكل ٧-٤. الصيغ

التركيبية لمادتي NAD و NADP .

بسبب الشحنة الموجبة في حلقة

النيكوتين أميد (أعلى اليمين) فإن

الصور المتأكسدة من عوامل

الاختزال والأكسدة الهامة هذه

غالباً ما تكتب  $NDA^+$  و  $NDAP^+$  على

التوالي . وعندما يتم اختزالها فإن

كل منها تكتسب ٢ إلكترون مع

بروتون واحد فقط ولذلك

فالشكل المختزل تكتب  $NADH$  و

$NADPH$  تحت الظروف الموجودة

في الخلية فإن ذرتي الهيدروجين

المولتين تنفصلان عن هذه المواد

الحامضية .

النيكوتيناميد هو أحد أفراد مجموعة فيتامينات ب وهو لذلك عنصر هام جداً في غذاء

الإنسان . لاحظ في الشكل (٧-٤) أن إحدى ذرات النروجين في النيكوتيناميد تحمل

شحنة موجبة واحدة ولهذا السبب غالباً ما ترمز للجزء كله بالرمز  $NDA^+$

في الباب (٣) عرفنا الأكسدة بأنها نزع الإلكترونات من المادة . في الخلايا تتم أغلب

عمليات الأكسدة بانتزاع ذرات هيدروجين (كل منها لها إلكترونها) ويلعب  $NAD^+$  دوراً حرجاً في هذا الصدد. فكل جزيء  $NAD^+$  يستطيع إكتساب (ومن ثم يختزل بواسطة) إثنين من الاليكترونات. ومع ذلك فإن بروتون واحد يصاحب عملية النقل أما الآخر فانه يطلق في الوسط المحيط. وعلى ذلك فان الصورة المختزلة  $NAD$  يمكن تمثيلها بكل دقة بالرمز  $NADH$ . ولكنها إكتسبت إثنين من الاليكترونات ويمكن تمثيل كل التفاعل كالآتي :



يشارك  $NAD$  في عدد كبير من تفاعلات الأكسدة والاختزال في الخلايا بما في ذلك الجلوكزة والعديد منهم في التنفس الخلوي. ومع ذلك فان بعض تفاعلات الأكسدة والاختزال في الخلايا تستخدم المركب المشابه له وهو نيكوتيناميد أدنين داينيوكلبيوتيد فوسفات Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate أو  $NADP$  وهو ببساطة عبارة عن  $NAD$  به مجموعة فوسفات ثالثة متصلة كما هو مبين في الشكل (٧-٤) ويتم إختزال  $NADP$  بنفس الطريقة التي يختزل بها  $NAD$  وسوف نرى في الباب التالي أن  $NADP$  هو عامل الاختزال المستخدم في البناء الضوئي. كذلك يعمل  $NADP$  كعامل إختزال في تفاعلات بنائية أخرى في كل من النباتات والحيوانات.

#### ٧-٤. الجلوكزة : شحن المضخة

##### GLYCOLYSIS : PRIMING THE PUMP

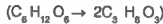
الخطوة الأولى في الجلوكزة هي نقل مجموعة فوسفات من  $ATP$  الى ذرة الكربون رقم ٦ في الجلوكوز (الشكل ٧-٥) يحدث هذا التفاعل مع فقد حوالي ٤ كيلو سعر من الطاقة الحرة. ومن حيث أن كسر الرابطة عالية الطاقة الطرفية في  $ATP$  ينتج على الأقل ٣, ٧ كيلو سعر فإننا نعلم أن جزيء جلوكوز -٦- فوسفات الناتج قد إكتسب طاقة حرة ويمكن القول أنه قد تم تنشيطه.

هذه الخطوة هي مثال جيد لازدواج تفاعل يطلق الطاقة مع تفاعل مستهلك لها. ويمكن التعبير عن التفاعلين كالآتي :



وبعد التحول الانزيمي للجلوكوز ٦- فوسفات إلى شبيهه الفركتوز ٦- فوسفات ينقل جزئ ATP آخر مجموعة فوسفات ثانية ولكن هذه المرة إلى ذرة الكربون رقم ١. المركب الناتج وهو الفركتوز ١, ٦- ثنائي الفوسفات يكتسب مرة أخرى القليل من الطاقة الحرة في هذه التفاعل.

الخطوة التالية في الجلوكزة هي الانشطار الانزيمي للفركتوز ١, ٦- ثنائي الفوسفات إلى شطرين كل منهما يحتوي على ثلاث ذرات كربون. أحدهما يسمى ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات أما الثاني فهو ٣- فوسفو جليسر الدهايد *3-Phospho Glycer Aldehyde* أو *PGAL*. وكما يتضح من الشكل (٧-٥) فإن هذين الجزئين متشابهين *isomers* وهما في الواقع على استعداد للترابط فيما بينهما بواسطة إنزيم آخر من إنزيمات الجلوكزة. لاحظ كذلك أننا لو تمكنا من إنتزاع مجموعات الفوسفات فاننا نحصل في الواقع على نصفى جزئ جلوكوز:

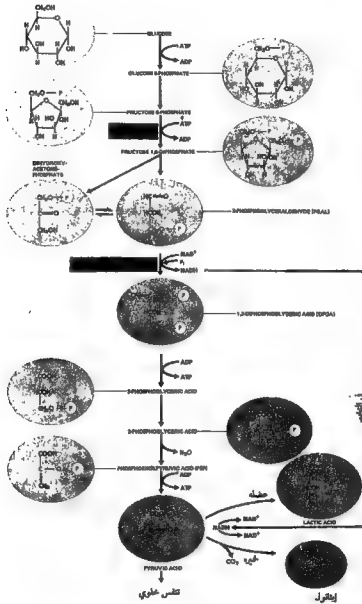


## ٧-٥ الجلوكزة : الأكسدة الأولى

### GLYCOLYSIS : THE FIRST OXIDATION

الخطوة التالية في الجلوكزة ذات أهمية خاصة. فهي ليست فقط حرجة بالنسبة للجلوكزة ومن ثم بالنسبة للتنفس الخلوي ولكنها أيضا نموذج للعملية التي تتكرر لإطلاق الطاقة في الخلايا.

يتم إنتزاع إثنين من الاليكترونات (في صورة ذرات هيدروجين) من جزئ ٣- فوسفو جليسر الدهايد (PGAL) ونقلهما إلى جزئ NAD. هذا بالطبع تفاعل أكسدة واختزال فيه يتأكسد PGAL ويختزل NAD. الإنزيم الذي يحفز هذا التفاعل هو ٣ -



الشكل ٥-٧. مسار الجلوكوز. جميع هذه التفاعلات تحدث في سائل الخلية. في كل من التخمر الكحولي و تخمر حامض اللاكتيك تستعمل الأليكترونات المنزوعة من PGAL بواسطة NAD لاختزال حامض البيروفيك. ومع ذلك ففي التنفس الخلوي تمر هذه الأليكترونات إلى داخل الميتوكوندريا.



فوسفو جليسر الدهايد دي هيدروجينيز. وحالما يغادر جزيء المركب الناتج الانزيم يتم إعطاؤه مجموعة الفوسفات اللاعضوية الموجودة في الخلية. الجزيء الناتج يسمى حامض ١, ٣- ثنائي فوسفو الجلسريك أو:



أكسدة PGAL إلى DPGA هي عملية منتجة للطاقة تبلغ فيها قيمة  $\Delta G$  حوالي ٦٤ كيلو سعر تصبح متاحة للخلية. من هذه الطاقة يتم إختزان ٥٢ كيلو سعر في الصورة المختزنة من NAD. كذلك يتم إختزان ١١, ٨ كيلو سعر في الرابطة التي تتصل بها مجموعة الفوسفات الجديدة مع الجزيء. وبذلك تضاف رابطة عالية الطاقة إلى هذا الجزيء. في الخطوة التالية مباشرة من الجلكتزة تنتقل مجموعة الفوسفات هذه إلى جزيء ADP فتحواله إلى ATP. تحويل ADP إلى ATP يتطلب على الأقل ٣, ٧ كيلو سعر كما رأينا من قبل. وبذلك تكون الطاقة الزائدة المختزنة في DPGA كافية لنقل الطاقة.

بعد تحول الجزيء أحادي الفوسفات حامض ٣- فوسفوجللسريك إلى شبيهه حامض ٢ - فوسفوجللسريك يتسرع منه جزيء ماء. هذه العملية تحول مجموعة الفوسفات الباقية إلى صورة عالية الطاقة (على حساب طاقة الروابط في أماكن أخرى من الجزيء) ثم يتخلى حامض فوسفواينول بيروفيك (Phos- PEP)  $\text{pho Enol Pyruvic acid}$  عن مجموعة الفوسفات عالية الطاقة ليحول جزيء آخر من ADP إلى ATP. والمركب الناتج هو حامض البيروفيك  $(\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3 \text{ pyruvic acid})$  وكما ترى فإنه يكفي نصف جزيء جلوكوز  $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$  تمت أكسدته حتى فقد إثنين من الاليكترونات (في صورة ذرتين من الهيدروجين).

ما هو مصير حامض البيروفيك؟ سوف ندرس ثلاث طرق رئيسية تتناول بها الخلايا حامض البيروفيك الناتج من الجلكتزة. هذه هي تخمر حامض اللاكتيك والتخمير الكحولي والتنفس الخلوي.

## ٦-٧. تخمر حامض اللاكتيك LACTIC ACID FERMENTATION

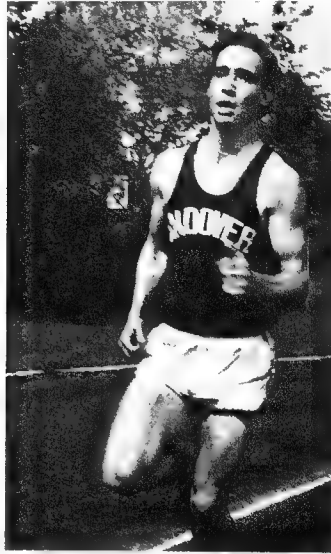
في الخلايا الحيوانية مثل تلك الموجودة في عضلة مرهقة وحيث يكون الأوكسجين غير كاف للتنفس الخلوي يتم إختزال حامض البيروفيك إلى حامض لكتيك. العامل

المختزل هو NADH . الطاقة المختزنة في NADH تنتقل مرة أخرى إلى الجزئ الكربوهيدراتي .

ما الفائدة من ذلك؟ تذكر أننا بدأنا بجزئ جلوكوز يحتوي على طاقة إحتراق حرة مقدارها ٦٨٦ كيلو سعر وقد أنتجنا جزئين من حامض اللاكتيك يحتوي كل منهما على طاقة إحتراق حرة مقدارها حوالي ٣١٩,٥ كيلو سعر. وعلى ذلك تكون هناك حصيلة من الطاقة الحرة مقدارها ٤٧ كيلو سعر (٦٨٦ - ٢ × ٣١٩,٥ = ٤٧). كذلك فعلى الرغم من أننا إحتجنا إلى جزئين من ATP لبدء العملية فقد نتج من الجلوكزة أربعة جزئيات ATP (إثنان من جزئي DPGA وإثنان من جزئي PEP). وعلى ذلك فإن الجلوكزة تنتج حصيلة مقدارها جزئين ATP لكل جزئ جلوكوز. فإذا كان ١٤,٦ كيلو سعر من الطاقة مختزنة فيها (٧,٣ × ٢) فإن حوالي ٣١٪ من الطاقة الحرة (٤٧ كيلو سعر) قد تم تخزينها في صورة ATP. وفي الواقع فإن هذا التقدير للكفاءة فيه تحفظ كبير.

وعندما نعلم أن جزئي حامض اللاكتيك يحتويان على ٦٣٩ من أصل ٦٨٦ كيلوسعر كانت موجودة في الجلوكوز فإن العملية تبدو غير مجدية حيث لم ينطلق سوى ٧٪ فقط من الطاقة (وثلث هذه الكمية فقط إختزن في ATP). معظم الطاقة الموجودة في الوقود (الجلوكوز) مازالت حبيسة في النفايات (حامض اللاكتيك) كما أن هذه العملية لا تخلو من إحتيالات الخطر كذلك. فحامض اللاكتيك كما هو واضح من الاسم حامض وإنتاجه في خلية عضلية من شأنه أن يخفض الأس الهيدروجيني إلى الدرجة التي تضطرب معها وظائف الخلية. ومع ذلك فإن تخمر حامض اللاكتيك يعمل كمصدر للحصول على ATP بالنسبة للخلايا التي تحتاج إليه بشدة لأنها لا تستطيع تأمين إحتياجاتها من الأوكسجين اللازم للتنفس الخلوي (الشكل ٧-٦).

وقد تتساءل لماذا تكون هناك حصيلة من الطاقة في تخمر حامض اللاكتيك؟ فجزئ حامض اللاكتيك ليس بأكثر تأكسداً من جزئ الجلوكوز وبالنظر إلى صيغته الجزيئية  $C_3H_6O_3$  فإنه يبدو أن كل ما أنجزته الجلوكزة هو تكسير جزئ الجلوكوز إلى جزئين  $C_2H_4O_2$  و  $C_2H_4O_2 \rightarrow 2C_2H_4O_2$  وهذا صحيح إلى حد ما ولكن الفحص الدقيق يبرهن على حدوث ما هو أكثر من ذلك. فإحدى نهايتي الجزئ  $(-CH_3)$ . أكثر إختزالا مما في المركب الكربوهيدراتي بينما الأخرى  $(-COOH)$  أكثر تأكسداً. وعلى ذلك تكون



الشكل ٧-٦ . في جريه نحو  
خط النهاية يستخدم هذا العداء  
عملية تخمر حامض اللاكتيك  
اللاهوائية لاستكمال الطاقة  
الناتجة من التنفس الخلوي . بعد  
السباق يتم سداد دين  
الأوكسجين الذي تسبب فيه  
التخمر .

هناك عملية أكسدة واختزال داخلية وهذه هي العملية التي تؤدي إلى حصد كمية ضئيلة من  
الطاقة الحرة .

#### ALCOHOLIC FERMENTATION

#### ٧-٧ . التخمر الكحولي

الجلوكوز في الخميرة تسير على نفس خطوات المسار السابق بالضبط ما عدا الخطوة  
الأخيرة . ففي الخميرة يتم نزع الكربوكسيل (نزع  $\text{CO}_2$ ) من حامض البيروفيك قبل ان  
يتم إختزاله بواسطة  $\text{NADH}$  . النتيجة إذن هي جزيء من  $\text{CO}_2$  وجزيء من الإيثانول .

( في الواقع جزئان من كل منهما لكل جزيء جلوكوز يتخمر )



وكما كان الحال في تخمر حامض اللاكتيك فإن هذه العملية فيها الكثير من الخسائر. فمعظم الطاقة المختزنة في الجلوكوز مازالت مختزنة في الايثانول ( وهذا يفسر الاستعمال الشائع للايثانول كوقود في الآلات عالية الأداء ). كذلك كما كان الحال في تخمر حامض اللاكتيك فإن هذه العملية خطيرة. فالحموضة تتسبب في التسمم لنفسها حينما يصل تركيز الايثانول إلى حوالي ١٣٪. (وهذا يفسر القيمة القصوى للمحتوي الكحولي في المشروبات الناتجة من التخمر مثل النبيذ . لانتاج مشروبات ذات محتوى كحولي أعلى لابد من تركيز الكحول بالتقطير ). وأيضا كما كان الحال في تخمر حامض اللاكتيك لاحظ أن التخمر الكحولي قد أخذ مادة كربوهيدراتية ( $C_6H_{12}O_6$ ) وأكسد ذرة كربون بالكامل (إلى ثاني أكسيد كربون  $CO_2$ ) بينما تم اختزال الذرات الباقية ( $CH_3CH_2OH$ ).

## CELLULAR RESPIRATION

## ٧-٨. التنفس الخلوي

الطريقة الثالثة التي تستخدم الخلايا فيها حامض البيروفيك هي إستعماله كمادة لبداية التنفس الخلوي. إختزال حامض البيروفيك إلى حامض لكتيك (أو إلى إيثانول وثاني أكسيد كربون) هو في الواقع عملية بنائية مستهلكة للطاقة. حامض البيروفيك يعمل كمستقبل للإلكترونات المنزوعة سابقًا من PGAL. حامض اللاكتيك يحتوي على طاقة حرة أكبر مما في حامض البيروفيك والعملية إذن هي عملية تصاعدية مختزنة للطاقة. معظم الفائدة المرجوة من أكسدة PGAL قد فقدت. وفي أحسن الأحوال نحصل على طاقة من ٧٪ فقط من الوقود المستعمل.

ماذا لو وجدنا مستقبل أفضل للإلكترونات المنزوعة من NAD ؟ ونعني بمستقبل أفضل مستقبل acceptor يكون ذو سالبية كهربية أعلى بكثير مما في NAD. كما تعلم فإن الأوكسجين له أعلى سالبية كهربية بين العناصر (ما عدا الفلور). نقل إثنين من الإلكترونات من NADH إلى  $O_2$  ينتج حوالي ٥٢ كيلوسعر من الطاقة تصبح متاحة للخلية. كذلك إذا وجدنا طريقة لاستمرار أكسدة حامض البيروفيك فإن الطاقة

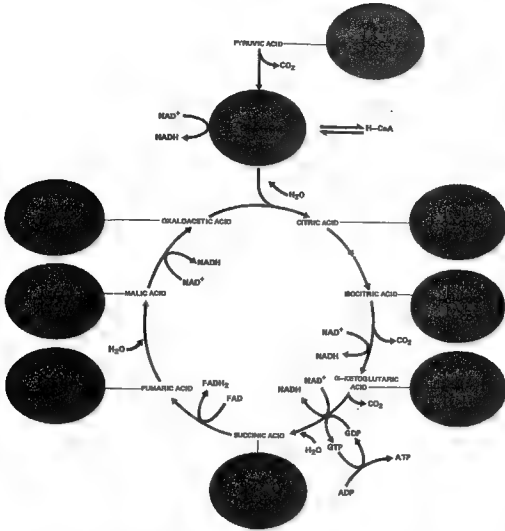
المختزنة فيه يمكن أن تصبح متاحة . يسعدني أن اسجل هنا أنه في بداية التطور تمكنت الكائنات الحية من : (١) إستعمال الأوكسجين كمستقبل نهائي للإلكترونات المنزوعة من المواد الكربوهيدراتية و (٢) الأكسدة الكاملة لحامض البيروفيك . في الكائنات حقيقية النواة كلا من هذين النشاطين يحدث في الميتوكوندريا . هذه هي عملية التنفس الخلوي .

## ٧-٩ . دورة حامض الستريك THE CITRIC ACID CYCLE

الأحداث الأساسية في التنفس الخلوي هي : (١) الأكسدة الكاملة لحامض البيروفيك بالتخلص على خطوات من كل ذرات الهيدروجين تاركة ثلاثة جزيئات من  $CO_2$  و (٢) توصيل الاليكترونات المنزوعة كأجزاء من ذرات الهيدروجين هذه إلى عنصر الأوكسجين ( $O_2$ )

بمجرد وجود حامض البيروفيك داخل الميتوكوندريا تحدث خطوة أخرى في أكسدة حامض البيروفيك . وكما في حالة أكسدة PGAL يتم إنجاز ذلك بواسطة NAD . وكما سبق يتم التخلص من ذرتي هيدروجين وهذه تختزل إلى NADH . وفي نفس الوقت يتم التخلص من جزيء ثاني أوكسيد كربون . الجزء الناتج يرتبط تساهياً مع مرافق إنزيمي آخر هو المرافق الانزيمي A coenzyme لتكوين المركب المعقد المسمى أسيتايل - كو أ acetyl-CoA (الشكل ٧-٧) . أسيتايل - كو أ يدخل الآن في سلسلة دائرية من التفاعلات الكيميائية تكتمل خلالها عملية الأكسدة . هذه السلسلة من التفاعلات تسمى دورة كريس Krebs cycle أو دورة حامض الستريك . الاسم الأول لتكريم العالم الذي إكتشفها أما الاسم الثاني فيعكس الخطوة الأولى في الدورة : إنحداد أسيتايل - كو أ مع حامض الأوكسالوخلليك oxaloacetic acid لتكوين حامض الستريك . في هذه العملية يعاد توليد جزيء من أسيتايل - كو أ ويستعمل جزيء واحد من الماء . حامض الأوكسالوخلليك رباعي الكربون وبه مجموعتي كربوكسيل وعلى ذلك فإن حامض الستريك يحتوي على ٦ ذرات كربون وثلاث مجموعات كربوكسيل (حامض الستريك هو الحامض الموجود في ثمار الحمضيات أو الموالح مثل الليمون والبرتقال) .

بعد خطوتين لا ينتج عنها سوى تكوين شبيه لحامض الستريك تحدث عملية أكسدة



الشكل ٧-٧. مسار التنفس الخلوي. تفاعلات دورة حامض الستريك (وتعرف بدورة كريبس أو دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل) تؤدي إلى الأكسدة الكاملة خطوة بخطوة لمجموعة الأستاتيل الموجودة في أستاتيل كوا. في الكائنات حقيقية النواة تحدث هذه التفاعلات في الميتوكوندريا.

أخرى يتوسط فيها NAD. مرة أخرى يتم إنجاز ذلك بالتخلص من جزء ثاني أكسيد كربون. المركب الناتج هو حامض الفا - كيتوجلوتاريك - Ketog-α lutaric acid وهذا بدوره يتأكسد ( $\text{NAD}^+ + 2\text{H} \rightarrow \text{NADH} + \text{H}^+$ ) ويفقد مجموعة كربوكسيل ( $\text{CO}_2$ ). يصاحب هذه الخطوات إكتساب جزء ماء. الناتج إذن به كربون أقل وذرة أوكسجين أقل. هذه هو حامض السكسينيك succinic acid.

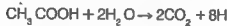
التحول من حامض الفا-كيتوجلوتاريك إلى حامض السكسينيك يكون مصحوبا

بتغير في الطاقة الحرة مقدارة - ٨ كيلو سعر وهذا يكفي بالكاد للازدواج مع تخليق جزء من ATP ( $\Delta G = + 7.3 \text{ Kcal.}$ ). ويتم التخليق فعلا وإن كان بطريق غير مباشر. أولا تتصل مجموعة فوسفات بالنيوكليوتيد (guanine diphosphate) GDP جوانيدين ثنائي الفوسفات فتحوله إلى جوانيدين ثلاثي الفوسفات GTP ثم ينقل هذا الأخير مجموعة الفوسفات الطرفية عالية الطاقة الموجودة فيه إلى أدينوزين ثنائي الفوسفات ADP فيحوله إلى أدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP.

الخطوة التالية في دورة حامض الستريك أشرنا إليها بإقتضاب في الباب (٦). وهي أكسدة حامض السكسينيك إلى حامض الفيوماريك Fumaric acid. مرة أخرى يتم إنتزاع ذرتي هيدروجين ولكن المرافق الانزيمي هذه المرة يسمى الفلافين أدينين ثنائي النيوكليوتيد (FAD) Flavin adenine dinucleotide ويتم إنتزال FAD إلى FADH.

مع دخول جزء ماء آخر يتحول حامض الفوماريك إلى حامض المالك المالك acid. وعند أكسدة حامض المالك بوساطة NAD ينتج جزء من حامض الأوكسالوخليليك وهو الجزء الذي بدأ به هذا الجزء من القصة. وعند إعادة توليد حامض الأوكسالوخليليك يستطيع جزء آخر من أسيتايل - كو أ أن يدخل الدورة.

قد نجد هذه القصة معقدة ولكنها أنيقة. ربما يفيد أن نتوقف الآن لترى ماذا أحرزت مرة واحدة من هذه الدورة. في الأصل أدخلنا جزء واحد من حامض الخليك ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) - وإن كان على هيئة أسيتايل - كو أ إلى هذه الدورة ثم أضفنا جزئين من الماء. وحدثت عمليتان لنزع الكربوكسيل وفي أربع مناسبات مختلفة تم التخلص من ذرتي هيدروجين. إذن يمكن التعبير عن هذه العملية كالآتي:



تم التخلص من ذرات الهيدروجين بواسطة NAD (FAD لأحد الأزواج). ومصيرهم النهائي هو الاتحاد مع الأوكسجين ( $\text{O}_2$ ) لتكوين جزيئات ماء. وعلى ذلك يكون حامض الخليك قد تمت أكسدته بالكامل إلى ثاني أوكسيد الكربون والماء. وإن دعنا نفحص عن قرب إنتقال ذرات الهيدروجين إلى الأوكسجين. هذه العملية أيضا تحدث في الميتوكوندريا.

## THE RESPIRATORY CHAIN

## ١٠-٧ . السلسلة التنفسية

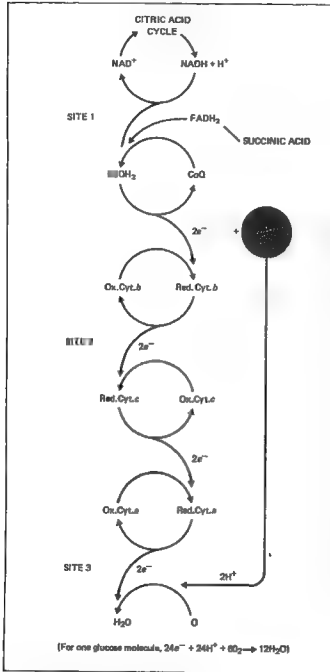
في القسم ٧-٥ ذكرنا أن أكسدة PGAL يمكن أن تتخذ كنموذج لكثير من خطوات التنفس الخلوي . وقد تذكر أن DPGA الناتج من الأكسدة كان يحتوي على قدر من الطاقة الحرة أقل بكثير مما في PGAL . معظم الفرق (٥٢ كيلو سعر) كان مخزونا في NAD الذي اكتسب الاليكترونات المنزوعة من PGAL.

في كل من عمليتي الأكسدة الآخرين في التنفس الخلوي يحدث نفس الشيء تقريبا . من حامض البيروفيك إلى أسيتابل - كوأ . من حامض أيزوستريك إلى حامض الفا-كيتوجلوتاريك . من حامض الفا-كيتوجلوتاريك إلى حامض سكسينيك . من حامض سكسينيك إلى حامض فيوماريك ومن حامض المالبك إلى حامض أوكسالوخليك . يحتوي الناتج في كل حالة على طاقة حرة أقل من المادة الداخلة في التفاعل ومعظم الفرق يُخزن في NADH ( $FADH_2$ ) في حالة واحدة).

الطريق إلى الحصول على هذه الطاقة يكون بالعودة إلى أكسدة NADH بواسطة عامل أكسدة ذو سالبية كهربية أعلى . وبسبب سالبية الكهربية العالية وسعة إنتشاره يكون الأوكسجين نموذجا لهذا الغرض . أكسدة NADH بالأوكسجين تعطينا ٥٢ كيلو سعر ومع ذلك فإن هذه القيمة أعلى بكثير مما يحتاجه لتخليق جزيء واحد من ATP (أعلى قليلا من ٣,٧ كيلو سعر) ولذلك فالأكسدة المباشرة لـ NADH بالأوكسجين يمكن أن تؤدي إلى فقد كمية كبيرة من الطاقة الحرة في صورة حرارة . الأسلوب الأفضل - وهو المتبع في الميتوكوندريا - هو بتمرير الاليكترونات المنزوعة من NADH من خلال سلسلة متصلة من مواد مؤكسدة مختزلة redox substances قبل التسايع لها في النهاية من الوصول إلى ذرات أوكسجين . كل من المواد المؤكسدة المختزلة هذه يمكنها أن تتأكسد وتختزل بالتبادل - تختزل كلما إستقبلت زوجاً من الاليكترونات من المادة ذات السالبية الكهربية الأقل وتتأكسد كلما أعطت هذه الاليكترونات إلى مادة لها سالبية كهربية أعلى . في كل خطوة من هذا التسايع توجد حصيلة من الطاقة الحرة . في ثلاث منها تكون الحصيلة كافية لتخليق جزيء ATP.

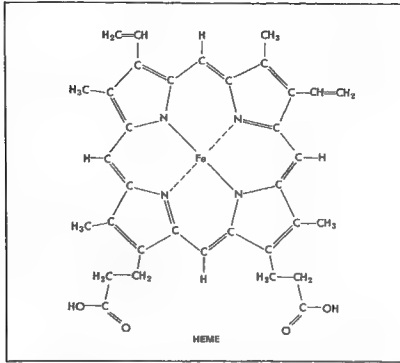
مواد الأكسدة والاختزال تشمل : (١) مرافق إنزيمي يسمى المرافق الانزيمي ك Coenzyme Q - (٢) سلسلة من إنزيمات السيوكروم Cytochrome و (٣) جزيئات





الشكل ٧-٨. السلسلة التنفسية. عند نزول الاليكترونات في هذه السلسلة فانها تملك طاقة توجه في النهاية نحو تخليق ATP. حسب نظرية الأوزموزية الكيميائية فان الطاقة تستخدم أولاً لضخ البروتونات الى خارج حشوة الميتوكوندريا ضد فرق تركيزهم. عند ثلاثة مواضع فقط في السلسلة (المواضع ١ و ٢ و ٣) يتطلق ما يكفي من الطاقة لانجاز ذلك. يتم تخليق ATP عندما تعود البروتونات، عدد البروتونات المبين هنا هو العدد المطلوب لامتزان المعادلة الكيميائية لأكسدة الجلوكوز. العدد الفعلي للبروتونات التي يتم ضخها الى خارج الحشوة كلها مركل زوج من الاليكترونات في هذا السلسلة غير مؤكد ولكنه على الأقل ٦.

الأوكسجين (O<sub>2</sub>) (الشكل ٧-٨). كل واحد من أنزيمات السيتوكروم به جزيء هيم heme كمجموعة فعالة (الشكل ٧-٩). الهيم هو نفس المجموعة الفعالة المحتوية على حديد والتي سبق أن شاهدناها في الأصباغ الحاملة للأوكسجين مثل الهيموجلوبين والميوجلوبين (انظر الشكل ٤-٢٣). السلسلة الكاملة من إنزيمات الأكسدة والاختزال



الشكل ٧-٩. تركيب الهيم. يعمل الهيم كمجموعة فعالة لانزيات السيتوكروم وكذلك للميوجلوبين والهيموجلوبين. قارن تركيبة بتركيب الكلوروفيل (شكل ٨-٣).  
في الميتوكوندريا تعرف باسم السلسلة التنفسية.

يبدو أن مسار الاليكترونات هو كالآتي: يتأكسد NADH بواسطة المرافق الانزيمي ك وهذه الاكسدة تنتج طاقة حرة تكفي للسماح بتخليق جزئ ATP من ADP وفوسفات غير عضوية. المرافق الانزيمي ك بدوره يتأكسد بواسطة سيتوكروم ب (الشكل ٧-٨). هذه الخطوة أيضا تنتج طاقة تكفي للسماح بتخليق جزئ ATP. السيتوكروم س يتنزل بعد ذلك معقد من إنزيمين هما سيتوكروم أ (Cytochrome a) وسيتوكروم أ٣ (cytochrome a3) وللسهولة سنذكر هذا المعقد باسم سيتوكروم أ. يتأكسد السيتوكروم أ بذرة أوكسجين وتصل بذلك الاليكترونات إلى قاع السلسلة التنفسية. الأوكسجين هو المادة التي لها أعلى سالبية كهربية في السلسلة وهو المستقبل الأخير للاليكترونات. ينتج من السلسلة جزئ ماء وبالإضافة إلى ذلك فان الأكسدة النهائية تولد طاقة تكفي لتخليق جزئ ثالث من ATP.

## ١١-٧ . الازدواج بين نقل الأليكترونات وتخليق ATP

## COUPLING ELECTRON TRANSPORT TO THE SYNTHESIS OF ATP

في الباب (٥) رأينا ان الميتوكوندريا تتكون من غشاء خارجي أملس وغشاء داخلي غزير الثنيات . ثنيات الغشاء الداخلي المسماة بالزوائد Cristae تمتد في الوسط السائل الذي يملأ داخل الميتوكوندريا (الشكل ٧-١٠) . توجد إنزيمات السلسلة التنفسية في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا وبالإضافة إلى ذلك تلتصق الانزيمات ذات العلاقة بتخليق ATP بالجانب الداخلي للغشاء الداخلي (المواجهة للوسط السائل) . توضح صورة المجهر الاليكتروني في الشكل ٧-١١ . صفوفًا منتظمة من أزرار معنقة Stalked Knobs على هذا السطح الداخلي للغشاء الداخلي . كل من هذه الأزرار يمثل عبوة إنزيمية لتخليق ATP.



الشكل ٧-١٠ . ميتوكوندريون مفرد، تلبو بوضوح الطريقة التي يبرز بها الغشاء الداخلي الى الداخل لتكوين الزوائد . بعض انزيمات دورة حامض الستريك وكل انزيمات السلسلة التنفسية تكون متصلة بأغشية الزوائد (٨٠٠٠٠ مرة - بصرياً من كيث ر. بوترز) .



الشكل ٧-١١. أضرار  
على السطح الداخلي (المواجهة  
للحشوة) للزوائد في  
ميتوكوندريون من كبد  
الفأر. ربما كان كل زرع يمثل  
معقد أنزيمي مفرد خاص  
بتخليق ATP.

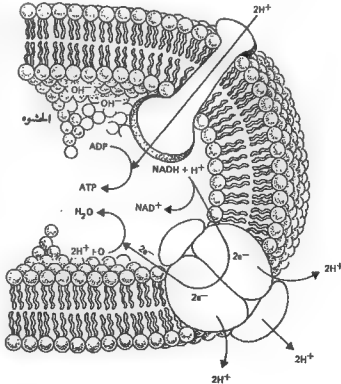
(٢٤٠٠٠٠ مرة - بتصريح  
من الدكتور دونالد ف.  
بارسونز - ساينس العدد  
١٤٠ : ٩٨٥ - ١٩٦٣).

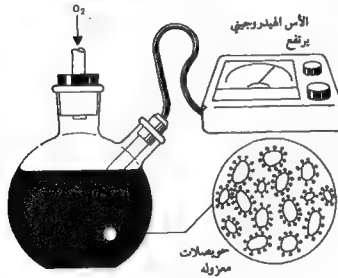
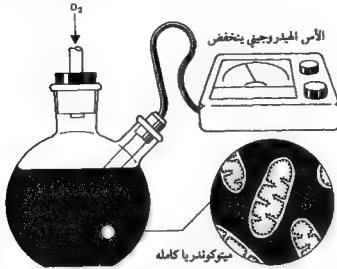
هناك عدة نظريات لتفسير كيف يؤدي مرور الاليكترونات عبر السلسلة التنفسية إلى تخليق ATP. النظرية التي توجد لها أقوى البراهين في الوقت الراهن تسمى نظرية الأوزموزية الكيميائية Chemiosmotic theory. هذه النظرية التي نادي بها بيتر ميشيل تقول ان سريان الاليكترونات يتسبب في إنتقال البروتونات ( $H^+$ ) عبر أغشية الزوائد من الجانب المواجه للوسط السائل (الداخل) إلى الخارج (الشكل ٧-١٢). وكلما إستمرت العملية كلما ترسخ فرق التركيز بسرعة مع تركيز عالي من البروتونات في الخارج وتركيز منخفض في الداخل. ضخ البروتونات من منطقة التركيز المنخفض إلى منطقة التركيز المرتفع يخلق ضغطاً أوزموزياً كيميائياً يشبه الضغط الأوزموزي الذي يتولد عن فرق تركيز جزيئات الماء. بالإضافة إلى ذلك فان تراكم الشحنات الموجبة في الخارج والشحنات السالبة على الجانب الداخلي للغشاء يخلق فرق جهد كهربائي. ان الطاقة المخزونة في هذا النظام هي التي تستخدم في تخليق ATP.

تخليق ATP يتم حفزه فعليا بواسطة معقد إنزيمي موجود في الأضرار التي تغطي السطح الداخلي للزوائد (الشكل ٧-١١). هذا المعقد الانزيمي هو البقعة الوحيدة على الغشاء التي يمكن للبروتونات عندها معاودة الدخول. وعندما تفعل ذلك فان الطاقة التي تتخلل عنها تنخرط في تخليق ATP.

هناك عدة سمات للميتوكوندريا تفسرها هذه النظرية . إحداها أن تخليق ATP يتوقف إذا حدث أي خلل في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا . إذا كان كل المطلوب لتخليق ATP هو مجرد المحلول الانزيمي لما كانت هناك حاجة للمحافظة على التكامل التركيبي للأغشية . هناك مطلب ثاني للنظرية وهو أن يكون غشاء الميتوكوندريا غير منفذ بالمرّة للبروتونات إذا كان له أن يحافظ على فرق كبير في تركيزهم . ويبدو أن هذا صحيح . وفي النهاية فإن القول بأن نقل الاليكترونات يتسبب في زيادة تركيز البروتونات خارج أغشية الزوائد يكون معناه أنه يتسبب في إنخفاض الأس الهيدروجيني (أي يصبح أكثر حامضية) هناك . الأس الهيدروجيني هو ببساطة مقياس لتركيز البروتونات (انظر القسم ٩-٣) . وعند السماح لميتوكوندريا معزولة بالتنفس فإنها تخفض الأس الهيدروجيني للوسط الذي توجد معلقة فيه (الشكل ٧-١٣) . وعلى الجانب الآخر فإنه عند تحطيم الميتوكوندريا فإن الزوائد تتحرر وتكون حويصلات تكون فيها الأزرار التي تخلق ATP مواجهة للوسط . مثل هذه التحضيرات لاتزال قادرة على نقل الاليكترونات وكلما فعلت ذلك إمتصت بروتونات من الوسط فترفع الأس الهيدروجيني له (الشكل ٧-١٣) .

الشكل ٧-١٢ . الأزواج بين تخليق ATP ونقل الاليكترونات حسب نظرية الاوزموزية الكيميائية . نقل الاليكترونات خلال انزيمات السلسلة التنفسية يتسبب في ضخ البروتونات الى خارج حشوة الميتوكوندريا . تعود البروتونات من خلال جهاز آخر من الانزيمات وعندما تعود تذهب الطاقة المنطلقة الى تخليق ATP . العدد الفعلي للبروتونات التي يتم ضخها مع مرور كل زوج من الاليكترونات في السلسلة التنفسية والعدد المطلوب لتخليق كل جزيء من ATP قد يكون أكبر مما هو موضح هنا .





الشكل ٧-١٣. الدليل الذي يدعم نظرية الأوزموزية الكيميائية. التنفس في ميتوكوندريا كاملة يرسل البروتونات في الوسط المحيط بها فيخفض الأس الهيدروجيني. عندما يحدث التنفس في زوائد معزولة انقلبت على نفسها فأبدا تنزع البروتونات من الوسط المحيط بها فيرتفع الأس الهيدروجيني.

تبعاً لنظرية الأوزموزية الكيميائية فإنه لا حاجة لتفاعل إنزيمات السلسلة التنفسية مباشرة مع الإنزيمات المستعملة في تخليق ATP. والأدلة الكيميائية والأدلة من المجهر الإلكتروني كلها تشير إلى أن هذين النظامين الإنزيمين مستقلان تماماً. بالإضافة إلى ذلك فإن فرق تركيز البروتونات الناشئ عن السلسلة التنفسية يستطيع دفع تفاعلات أخرى مستهلكة للطاقة في الميتوكوندريا وهذه تشمل النقل النشط لأيونات الصوديوم ( $Na^+$ ) من الوسط إلى الفراغ الخارجي وعلى ضوء ذلك فإن الميتوكوندريا ليست فقط عضيات لتخليق ATP وإنما هي بطارية ضئيلة يتم فيها تحويل الطاقة الكامنة في جزيئات الغذاء إلى طاقة كامنة مخزنة في فرق تركيز البروتونات وكذلك في فرق ضئيل

في الجهد الكهربائي (حوالي ١٤, ٠ فولت). هذه الطاقة تتحرر وتستعمل لتخليق ATP وفي تفاعلات أخرى مستهلكة للطاقة كلها تسمح للبروتونات بمعاودة الدخول إلى حشرة الميتوكوندريا.

يبقى الكثير مما لم يكشف عن الأوزموزية الكيميائية. ماهي بالتحديد الآلية التي تحدث بها انتقال الأليكترونات إنسياب البروتونات نحو الخارج ؟ ماهي الآلية التي يزدوج بها إنسياب البروتونات نحو الداخل مع تخليق ATP ؟ كم عدد الأليكترونات المطلوبة لانجاز كل من هاتين الخطوتين ؟ أيا كانت الاجابات عن هذه الأسئلة فإن الواضح حتى الآن أننا لايمكن أن نعتبر الميتوكوندريا كمجرد أكياس إنزيمات. فقيامها بوظيفتها الصحيحة يتطلب التوجيه الدقيق لجزيئات الانزيمات التي تنقل الأليكترونات والبروتونات والانزيمات المتعلقة بتخليق ATP. إذن حتى على المستوى الجزيئي فإن النجاح الوظيفي يعتمد على تركيب دقيق التنظيم.

## ١٢-٧. صحيفة الرصيد التنفسي : المواد

### THE RESPIRATION BALANCE SHEET : MATERIALS

دعنا الآن نجرى محاسبة لكل المواد المتفاعلة والناجمة من التنفس الخلوي لجزء واحد من الجلوكوز. ينشطر الجزء الواحد من الجلوكوز إلى اثنين من الجزيئات ثلاثية الكربون (PGAL). كل من هذين الجزئين يتعرض لست عمليات أكسدة متتابعة : خمس عمليات نزع هيدروجين بواسطة NAD وواحدة بواسطة FAD. كل جزئ PGAL يعطي إذن ما مجموعه ١٢ إلكترون (و  $H^+$ ) وبذلك يكون المجموع للجزئين من PGAL الناتجين من الجلوكوز هو ٢٤. وعلى ذلك فإن ٢٤ إلكترون، (و ٢٤ بروتون) يتحدون في النهاية مع ١٢ ذرة أوكسجين ( $O_2$ ) لتكوين ١٢ جزئ ماء.

عمليات نزع الكربوكسيل تحدث في ثلاثة مواضع (حامض البيروفيك و حامض الستريك و حامض الفا - كيتوجلوتاريك). تذكر أنه بسبب إكمال الدورة مرتين لكل جزئ جلوكوز فإننا نحصل على مجموع ٦ جزيئات من ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) لاحظ أيضا أن جزيئات الماء تدخل في ثلاث خطوات من العملية: تكوين حامض الستريك و حامض السكسينيك و حامض المالك. عند ضم كل ذلك فإننا نحصل على

المعادلة العامة الآتية للتنفس الخلوي :



ماذا عن إنتاج ATP ؟ في خمس مرات مختلفة أثناء تكسير جزيء واحد من PGAL يتنزع NAD زوجا من الاليكترونات ويمرهم عبر السلسلة التنفسية . كل زوج من الاليكترونات يؤدي إلى تكوين ثلاث جزيئات من ATP و على ذلك ينتج ١٥ جزيء ATP من جزيء PGAL بهذه العمليات التأكسدية ويكون المجموع ٣٠ جزيء ATP من كل جزيء جلوكوز. أضف إلى ذلك أن FAD يتنزع زوجا من الاليكترونات ولكنها يتجمان جزيئين فقط من ATP إذ أنها يتقلان مباشرة إلى المرافق الانزيمي ك. وبذلك لا يمران بالخطوة الأولى المنتجة للطاقة في السلسلة التنفسية (الشكل ٧-٨). يتم تعويض هذا النقص بواسطة جزيء ATP الوحيد الناتج من تحويل حامض الفا - كيتوجلوتاريك إلى حامض سكسينيك . مرة أخرى لا بد أن تدور الدورة مرتين لكل جزيء جلوكوز يتأكسد ويكون الناتج الاجمالي من هذه الآليات هو ٦ جزيئات ATP. أضف إلى ذلك جزيئين من ATP أنتجتها الجلوكزة ليكون المجموع الكلي في النهاية هو ٣٨ جزيء ATP تنتجهم أكسدة جزيء واحد من الجلوكوز (الشكل ٧-١٤).

### ٧-١٣ . صحيفة الرصيد التنفسي : الطاقة

#### THE RESPIRATION BALANCE SHEET : ENERGY

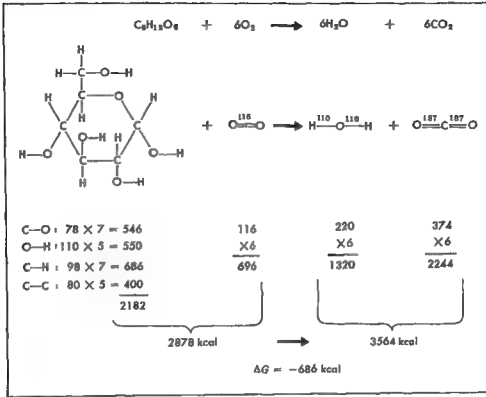
لاحظنا من قبل أن إحتراق ١ مول من الجلوكوز يطلق ٦٨٦ كيلو سعر من الطاقة تكاد تكون كلها في صورة حرارة . ولكن التنفس الخلوي للجلوكوز يحبس بعض هذه الطاقة بتخليق ATP . ماهي الكمية المحبوسة ؟ كل جزيء ATP يخزن (تكتفد) ٧,٣ كيلو سعر. هذا يمثل حصيلة مقدارها ٤٠٪ (٢٧٧ / ٦٨٦) من الطاقة الحرة للجلوكوز وهو أداء أعلى بكثير من حصيلة ٧٪ الناتجة من تخمر الجلوكوز. على الرغم من أن الميتوكوندريا في خلايا الكبد وعضلات القلب في الثدييات تستطيع توليد ٣٨ جزيء ATP من كل جزيء جلوكوز يتم تنفسه فليست لكل الخلايا نفس هذه الكفاءة . بعض الخلايا حقيقية الأنوية الأخرى - مثل لك الموجودة في عضلات الطيران عند الحشرات - تولد ٣٦ جزيء ATP فقط بكفاءة تبلغ ٣٨٪.



الشكل ٧-١٤. حصيلة ATP من التنفس الخلوي. على الرغم من أن الميتوكوندريا في خلايا الكبد وعضلات القلب في الثدييات تستطيع توليد ٣٨ جزيء ATP لكل جزيء جلوكوز يتم تنفسه فليست لكل الخلايا نفس هذه الكفاءة. بعض الخلايا حقيقية الأنوية الأخرى - مثل تلك الموجودة في عضلات الطيران عند الحشرات - تولد ٣٦ جزيء فقط - بكفاءة ٣٨٪.

ATP	٢	.....	حصيلة الجلوكزة	إنتاج ATP من
ATP	٦	.....	أكسدة ٢ PGAL	التنفس الخلوي
			أكسدة بواسطة NAD لكل من ٢	
			حامض بيروفيك، ٢ حامض أيزوستريك	
			و ٢ حامض الفا-كيتوجلوتاريك و ٢ حامض	
ATP	٢٤	.....	ماليك	
ATP	٤		أكسدة بواسطة FAD لجزيئين من حامض سكسينيك	
			تحويل ٢ حامض الفا-كيتوجلوتاريك	
ATP	٢	.....	الى حامض سكسينيك	
ATP	٣٨		المجموع	

في الباب (٣) درسنا أساس التغير في الطاقة الحرة ( $\Delta G$ ) للتفاعلات الكيميائية ووجدنا أن  $\Delta G$  تمثل الفرق بين الطاقة الحرة المنطلقة عند تكوين الروابط الموجودة في النواتج والطاقة اللازمة لكسر الروابط الموجودة في مواد التفاعل. في حالة التنفس الخلوي تكون مواد التفاعل (الجلوكوز و الأوكسجين) جزيئات من ذرات بينها فرق قليل أو بدون فرق في السالبية الكهربية وعلى ذلك تكون الروابط بينها تساهمية ولها متوسط طاقة روابط منخفضة. هذا أسلوب آخر للقول بأنه يمكن كسر هذه الروابط بسهولة نسبياً. على الجانب الآخر فإن النواتج ( $CO_2$ ,  $O_2$ ) هي جزيئات من ذرات بينها فرق ملحوظ في السالبية الكهربية وتتميز بروابط تساهمية قطبية ذات طاقة روابط عالية. هذه روابط قوية تنكسر بصعوبة وتطلق كميات كبيرة من الطاقة عند تكوينها. لأن مجموع طاقة الروابط للنواتج (= الطاقة المنطلقة) أكبر منه لمواد التفاعل (= الطاقة اللازمة) يكون هناك حصيلة من الطاقة المنطلقة وبذلك يتم التفاعل بحيث تكون  $\Delta G$  ذات قيمة سالبة.



الشكل ٧-١٥. علاقات طاقة الروابط في التنفس الخلوي. الفرق بين الطاقة الحرة اللازمة لكسر روابط مواد التفاعل والطاقة الحرة المنطلقة أثناء تكوين روابط النواتج هي ٦٨٦ كيلو سعر / مول وهو الحصلة الصافية من الطاقة الحرة للتفاعل.

دعنا ندرس العملية الآن بطريقة كمية. الشكل ٧-١٥ يعطي المعادلة العامة للتنفس الخلوي (مع إغفال جزيئات الماء الست الموجودة على الجانبين أي التي تلغى بعضها البعض من مواد التفاعل ومن النواتج). ويعطي كذلك الصيغ التركيبية ومتوسط طاقة الروابط لكل رابطة. وكما ترى فإن الروابط الأربع والعشرين للجلوكوز تتطلب ما مجموعه ٢١٨٢ كيلو سعر لكي تنكسر. الروابط المزدوجة الست للأوكسجين تتطلب ما مجموعه ٦٩٦ كيلو سعر لكي تنكسر وبذلك يصبح المجموع الكلي هو ٢٨٧٨ كيلو سعر مطلوبة لكسر جميع روابط مواد التفاعل. بالنسبة للنواتج فإن تكوين ٦ جزيئات من  $CO_2$  تستلزم ١٢ رابطة مزدوجة تساهمية قطبية لكل منها طاقة رابطة مقدارها ١٨٧ كيلو سعر بحيث ينطلق ٢٢٤٤ كيلو سعر عند تخليق ٦ جزيئات  $CO_2$ . تكوين ٢ من روابط O-H في جزيئات الماء يطلق ٢٢٠ ( $110 \times 2$ ) كيلو سعر من

الطاقة. بالنسبة لست جزيئات ماء يكون محصول الطاقة المنطلقة هو ١٣٢٠ كيلو سعر. وبذلك يكون المجموع بالنسبة للتواتج هو ٣٥٦٤ كيلو سعر. بطرح هذا الرقم من ٢٨٧٧ كيلو سعر المطلوبة لكسر روابط مواد التفاعل نصل إلى ٦٨٦ - كيلو سعر وهو التغير في الطاقة الحرة عند أكسدة الجلوكوز. هذه القيمة ثابتة عند أكسدة الجلوكوز بسرعة بواسطة الاحتراق أو بعملية التنفس الخلوي المنظمة.

#### ١٤-٧. بطارية التخزين الحيوية

##### THE STORAGE BATTERY OF LIFE

طوال هذا الباب (وكذلك الباب ٣) ساعدتنا السالبية الكهربية على فهم لماذا تسري الاليكترونات في الاتجاه الذي تسري فيه أثناء تفاعلات الاختزال والأكسدة. كما أعطتنا فكرة عامة عن العلامة (- أو +) وعن مقدار التغير في الطاقة الحرة ( $\Delta G$ ) الذي يمكن أن نتوقعه أثناء تفاعلات الاختزال والأكسدة. ولكننا نستطيع أن نجعل تحليلنا أكثر دقة. فالسالبية الكهربية يمكن أيضا التعبير عنها بفرق جهد في الاختزال والأكسدة (يرمز له بالرمز  $E$ ). في هذه الحالة لابد أن يوجد معيار للمقارنة. المعيار الذي سوف نستعمله هو المهدروجين وسوف نعطي للمهدروجين فرق جهد إختزال وأكسدة مقداره الصفر ( $E = 0$ ). أي مادة ذات سالبية كهربية أعلى من المهدروجين تعطى العلامة + لفرق جهد الاختزال والأكسدة. أي مادة لها سالبية كهربية أقل مما للمهدروجين تعطى علامة - لفرق جهد الإختزال والأكسدة. هذا مقياس كمي. كلما زاد الاختلاف في جهد الاختزال والأكسدة لمادتين ( $\Delta E$ ) كلما زادت قوة سريان الاليكترونات تلقائيا من المادة الأقل إيجابية إلى المادة الأعلى إيجابية (أي الأعلى في السالبية الكهربية). الاختلاف في الجهد ( $\Delta E$ ) إذن هو مقياس للضغط بينها ونعبر عنه بالفولت.

عندما نقرب بين مادتين مختلفتين في  $E$  بحيث يكون هناك فرصة لسريان الاليكترونات بينها فقد أنشأنا بطارية. وعلى الرغم من أنها قد تكون داخل إحدى الميتوكوندريا إلا أنها بطارية تماما كبطارية الرصاص - الحامض الموجودة في سيارة.

لك أن تتخيل أنه كلما زاد الفولت (أي  $\Delta E$ ) الموجود بين عنصري البطارية كلما زادت الطاقة المتاحة عندما تأخذ الاليكترونات في السريان. وفي الواقع يمكن تحديد

كمية الطاقة الحرة المتاحة من تلك البطارية. العلاقة هي :

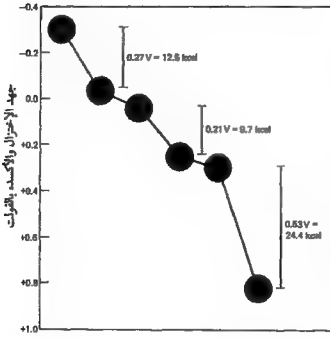
$$\Delta G = -n(0.62, 23 \text{ كيلو سعر}) \Delta E$$

حيث  $n$  هو عدد الاليكترونات المنقولة والرقم  $0.62, 23$  كيلو سعر هو كمية الطاقة المنطلقة عندما يمر اليكترون واحد عبر إنخفاض في الجهد مقدارة فولت واحدة (يسمى ثابت فاراداي Faraday Constant). الكربون المختزل إلى الحد الموجود في المواد الكربوهيدراتية مثل الجلوكوز له جهد اختزال وإكسدة حوالي  $0.42$  فولت. الأوكسجين وله أعلى سالبة كهربية في هذا النظام يكون بالطبع له أكبر قيمة  $E$  وهي  $0.82$  فولت.  $\Delta E$  إذن هي  $0.24$  فولت (الشكل ٧-١٦). إذا سمحنا بمرور  $24$  اليكترون خلال هذا الجهد فان ذلك يعطينا حصيلة من الطاقة الحرة مقدارها  $686$  كيلو سعر ( $\Delta G = -24 \times 0.62, 23 \times 24 = 1, 24$ ).

نفس هذا الأسلوب في التحليل قد يساعدنا على فهم الاستراتيجية المتبعة في السلسلة التنفسية. الشكل (٧-١٦) يبين جهد الاختزال والإكسدة للمواد NAD ( $0.32$  فولت) والمرافق الانزيمي ك (حوالي  $0.05$  فولت) وسيتوكروم ب ( $0.03$  فولت) وسيتوكروم س ( $0.34$  فولت) وسيتوكروم أ ( $0.29$  فولت) والأوكسجين ( $0.82$  فولت). الطاقة الحرة المنطلقة مع مرور الاليكترونات من خطوة إلى خطوة يمكن حسابها بسهولة باستخدام العلاقة السابقة. عند ثلاث مواضع فقط في السلسلة التنفسية ينتج الانخفاض في الجهد طاقة تكفي لضخ بروتونات ضد فرق التركيز. هذه هي : الانتقال من NAD إلى المرافق الانزيمي ك ( $\Delta E = 0.27$  فولت) وبذلك تكون  $\Delta G = -12, 5$  كيلو سعر) ومن سيتوكروم ب إلى سيتوكروم س ( $\Delta E = 0.21$  فولت) وبذلك تكون  $\Delta G = -9, 7$  كيلو سعر) ومن سيتوكروم أ إلى الأوكسجين ( $\Delta E = 0.53$  فولت) وبذلك تكون  $\Delta G = -24, 4$  كيلو سعر).

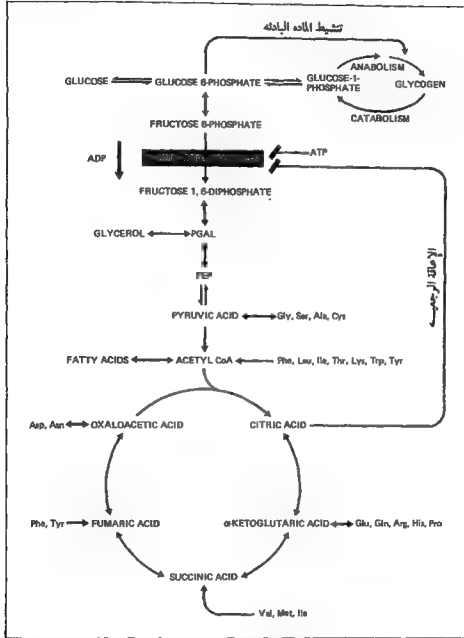
١٥-٧. ماذا عن أنواع الوقود الأخرى؟ WHAT ABOUT OTHER FUELS

لقد درسنا ببعض التفصيل نظاماً أنيقاً تنطلق فيه الطاقة المختزنة في الجلوكوز بعناية لكي تستعملها الخلية. ولكن الجلوكوز ليس هو الوقود الوحيد الذي تعتمد عليه



الشكل ٧-١٦. جهود الاختزال والأكسدة لكونونات السلسلة التنفسية. عند ثلاث خطوات في مرور الالكترونات لأسفل يكون الانخفاض في الجهد (E) كافياً لإطلاق الكمية من الطاقة اللازمة لتخليق جزيء ATP

الخلية. فالمواد الكربوهيدراتية الأخرى والدهون وحتى البروتينات قد تستعمل في خلايا معينة أو في أوقات معينة كمصدر للطاقة وبعد أن رأيت الآلية المعقدة التي تستعملها الخلية الجلوكوز فأنك قد تأمل ألا تحتاج إلى أنظمة مشابهة لكل نوع من الوقود. وفعلاً لا حاجة لذلك. فاحدى المزايا الهامة لأكسدة الجلوكوز بخطوة بخطوة إلى  $H_2O, CO_2$  أن العديد من المركبات الوسيطة المتكونة أثناء هذه العملية تربط أيضاً الجلوكوز بأبيض جزيئات الغذاء الأخرى. فمثلاً عند إستعمال الدهون كوقود فإن جزء الجليسرول من الجزيء الدهني يتحول إلى PGAL ويدخل في مسار الجلوكزة عند تلك النقطة. الأحماض الدهنية تتحول إلى أستاتيل - كوأ وتدخل في المسار التنفسي (الشكل ٧-١٦). الأحماض الأمينية الناتجة من تمويه البروتينات يمكنها أيضاً أن تكون وقود. أولاً ينتزع منها النيتروجين بعملية تسمى نزع الأمين deamination. وتدخل الأجزاء المتبقية إلى العملية عند عدة نقاط. مثلاً الأحماض الأمينية جلايسين Gly وسيرين Ser والألانين Ala والسيسيتين Cys تتحول إلى حامض بيروفيك وتدخل الميتوكوندريا لكي يتم تنفسها. الأستاتيل - كوأ يعمل كنقطة دخول للأحماض فيناتيل ألانين Phe والليوسين Leu و الأيزوليوسين Ile والثريونين Thr واللايسين Lys والثربتوفان Trp والتيروسين Tyr. حامض الأسبارتيك Asp والأسباراجين Asn



الشكل ٧-١٧. التداخلات بين أيض الدهون والبروتينات والمواد الكربوهيدراتية. نواتج هضم الدهون (أحماض دهنية وجليسرول) والبروتينات (الأحماض الأمينية) تدخل إلى مسار التنفس الخلوي عند النقاط الموضحة. بعض هذه النقاط (مميزة بأسمهم ذات رأسين) تعمل على تصريف المواد الوسيطة الزائدة إلى المسارات البنائية التي تقود إلى تخليق الدهون وبعض الأحماض الأمينية. الأسمهم السوداء تبين تلك الخطوات التي يمكن للمسار الأيضى عندها أن ينعكس فقط باستعمال إنزيمات مختلفة. يبين الشكل كذلك إثنين من نقاط التحكم الرئيسية في التنفس الخلوي. التنشيط الانزيمي مبين بسهم ثقيل والإعاقة الانزيمية مبينة بخط سميك.

يتحللان إلى حامض أوكسالوخلليك بينما حامض الجلوماتيك Glu والجلوتامين Gln والأرجنين Arg والمستيدين His والبرولين Pro تدخل دورة كريبس عند نقطة حامض الفا - كيتوجلوتاريك (الشكل ٧ - ١٧) هذه الروابط إذن تسمح بتنفس الزيادة من الدهون والبروتينات في الغذاء . وليست هناك حاجة إلى آليات خاصة للتنفس الخلوي عند تلك الحيوانات التي تعتمد بقدر كبير على الدهون ( مثل معظم الطيور ) أو البروتينات (مثل آكلات اللحوم) المأكولة لأمدادها بالطاقة .

## ١٦-٧ . التحكم في التنفس الخلوي CONTROL OF CELLULAR RESPIRATION

لا بد من التحكم في تشغيل نظام معقد مثل الجلوكزة والتنفس الخلوي , فمثلا يجب أن تستجيب الخلية بفاعلية إلى الاحتياجات المتغيرة من ATP والتغير في الأوكسجين المتاح والمصادر المتغيرة للوقود (مثل الجلوكوز --- أحماض دهنية) المتاح لها . وقد تم إكتشاف عدة آليات لهذا التحكم .

دعنا نفحص واحدة من أهم نقاط التحكم . هذه النقطة التي يتحول عندها الفركتوز ٦- فوسفات إلى فركتوز ١, ٦- ثنائي الفوسفات . هذا التفاعل يحفز الانزيم فوسفو فركتوكينيز . يتأثر النشاط الحفاز للفوسفو فركتوكينيز بقوة بعدة مواد أخرى . التركيز المتزايد لمادة ADP مثلا يسرع من نشاط الانزيم . وهذا معقول تماما لأنه يسرع من عملية الجلوكزة وبذلك يساعد في إعادة بناء مادة ATP المتاحة للخلية . في الجانب الآخر نجد أن التركيز المتزايد من مادة ATP يثبط نشاط الانزيم فيبطيء من إنتاج ATP . هذا مثال للعاقبة الرجعية (انظر القسم ٦- ١٠) . تراكم حامض الستريك وهو مادة بسيطة في دورة كريبس يثبط أيضا نشاط الفوسفو فركتوكينيز وكذلك إنتاج المزيد من حامض الستريك . فالفوسفو فركتوكينيز إذن هو مثال للانزيم الفراغي المغاير allosteric enzyme . فنشاطه بالنسبة لمادة تفاعله يتأثر كثيرا بوجود جزيئات أخرى تلتحم معه عند موضع ما على الجزيء غير الموضع الحفاز . وهذه الطريقة تضبط بدقة معدل الجلوكزة حسب إحتياجات الخلية .

## ١٧-٧ . كيف تم التوصل الى هذه الاكتشافات ؟ HOW THESE DISCOVERIES WERE MADE ?

قد تحتار في كيفية إكتشاف علماء الكيمياء الحيوية لكل هذه الخطوات الوسطية في الجلوكزة والتنفس الخلوي . وقد إحتاج ذلك إلى جهد العديد من العلماء لعدد كبير من السنين واستعمال طرق بارعة .

إحدى طرق دراسة الأيض الوسيط هي إضافة مادة يُظن أنها وسيطة ثم تتبع (١) ما إذا كانت قد استهلكت و (٢) ماهي المواد الجديدة التي أخذت في التراكم . أحيانا تستعمل هذه الطريقة مع الكائن كاملا ولكن عادة تطبق على أعضاء معزولة أو حتى على خلاصة الخلية . فمثلا إكتشف هانز كريس أن حامض الستريك يتكون عند إضافة حامض البيروفيك وحامض أوكسالوخليك الى عضلة الحمام المقرية وقد مكنته هذا الاكتشاف من التوصل إلى تفاعلات الدورة التي تحمل اسمه الآن .

كذلك قدم لنا استعمال المعوقات الانزيمية معلومات عن الأيض الوسيط . فمثلا التأثير السام لحامض المألونيك (انظر القسم ٦-٩) يرجع إلى اعاقته للسكسينيك دي هيدروجينيز وهو الانزيم الذي يحفز تحول حامض السكسينيك إلى حامض فيوماريك في دورة كريس . عند وجود حامض المألونيك فإن مادة التفاعل العادية وهي حامض السكسينيك تتراكم ويمكن التعرف عليها . إذن عندما يمكن التعرف على المادة العادية التي يتجها الانزيم فانه يمكن إضافة هذه المادة إلى النظام المسمم فاذا عاود التنفس نشاطه كما يحدث عند إضافة حامض الفيوماريك (الشكل ٧-٧) إلى الأنسجة المسممة بحامض المألونيك فإن حلقة أخرى من حلقات السلسلة تكون قد إنتضحت .

واحدة من أفضل طرق دراسة الأيض الوسيط هي إضافة جزيئات بها ذرات مشعة إلى نظام انزيمي . الظهور التدريجي للاشعاع في مواد كيميائية أخرى سوف يحدد مسار حدوث التغيرات الكيميائية . في الباب التالي سوف نرى كيف يمكن إستخدام هذه الطريقة في التوصل إلى واحدة من الخطوات الهامة في عملية البناء الضوئي .

## ١٨-٧ . إستخدامات الطاقة THE USES OF ENERGY

تقوم الجلوكزة والتنفس الخلوي بتحويل الطاقة الحرة الموجودة بالغذاء إلى طاقة حرة مخزنة في ATP .



ويعمل ATP بدوره كمصدر وسيط للطاقة بالنسبة لجميع أنشطة الكائن التي تتطلب طاقة. هذه الأنشطة تقع في عدة أقسام:

## MECHANICAL WORK

## ١ - الشغل الآلي

الحركة هي واحدة من عدة سبل عند الحيوانات لعمل شغل آلي. في جميع الأحوال يتم الشغل الآلي عن طريق إنقباض خلايا عضلية والقوة المبذولة أثناء إنقباض الخلايا العضلية تنتقل إلى تراكيب مهيأة للحركة. يتم إمداد الخلايا العضلية بالطاقة اللازمة لانقباضها بواسطة ATP. وكذلك يتم إمداد الأهداب والأسواط المتحركة (راجع القسم ٥-١٨) بالطاقة بواسطة ATP

## ACTIVE TRANSPORT

## ٢ - النقل النشط

لابد للخلايا من بذل طاقة لنقل الأيونات والجزيئات ضد اتجاه فرق التركيز أي لانجاز النقل النشط. وقد ذكرنا عدة أمثلة للنقل النشط في القسم ٦-٥. وربما كانت جميع حالات النقل النشط مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بإنتاج واستخدام ATP في الخلية.

## HEAT PRODUCTION

## ٣ - إنتاج الحرارة

الطاقة هي أيضاً مصدر للحرارة بالنسبة للكائنات الحية. الثدييات والطيور تعتمد بصفة خاصة على الحرارة المولدة داخلياً ولذلك يمكنها المحافظة على درجة حرارة ثابتة لأجسامها رغم التقلبات في درجة حرارة الجو. وعموماً يكون إنتاج الحرارة عبارة عن ناتج ثانوي من التحولات الأخرى للطاقة في الخلية. وكما رأينا فإنه لا يوجد تحول للطاقة تبلغ كفاءته ١٠٠٪. على سبيل المثال عندما تتحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة آلية (كما في حالة إنقباض العضلات) تفقد كمية كبيرة (٧٠-٨٠٪) من الطاقة في صورة حرارة. الانقباض العضلي اللا إرادي الذي نسميه بالرعشة يستغل عدم الكفاءة هذا في منع درجة حرارة الجسم من الهبوط إلى أقل من الدرجة العادية. والمصدر المباشر للطاقة اللازمة لانقباض العضلات هو كما رأينا ATP.

## ANABOLISM

## ٤ - البناء

البناء هو تخليق جزيئات كبيرة مثل البروتينات وعديدات السكر والأحماض والنوية

من وحدات صغيرة. هذه التخليقات لا يمكن أن تتم إلا بإدخال طاقة. وسواء بطريق مباشر أو غير مباشر فإن ATP هو مصدر الطاقة لجميع الأنشطة البنائية في الخلايا.

## ١٩-٧. البناء ANABOLISM

نواتج البناء تقوم بعدة وظائف أساسية فالجلالايكوجين والدهون بل والبروتينات تعمل كوقود مخزون لعمليات الهدم اللاحقة. تخليق أحماض نووية جديدة يمكن الكائن من إحتزان وإنتاج نسخ إضافية من مكتبته المحتوية على المعلومات الوراثية. جزيئات البروتين والبروتين - كربوهيدرات والبروتين - ليبيدات هي عناصر تركيبية أساسية بالنسبة للكائن داخل وخارج الخلايا. وعندما يكون تخليق هذه المواد أسرع من تكسيدها ينمو الكائن.

جميع التحولات البنائية تحفزها إنزيمات تماما مثلما يحدث في التفاعلات الهدمية. ونظرا للسهولة النسبية التي يمكن بها عكس إتجاه العديد من التفاعلات الانزيمية فاننا نتوقع أن تعمل الانزيمات المعنية بالهدم في البناء أيضا وذلك عن طريق تغيير التركيز النسبي للمواد على جانبي المعادلة. وفي الواقع فإن بعض المسارات البنائية تستخدم فعلا بعض الانزيمات ذات العلاقة بالمسارات الهدمية (عديد من الامثلة موضح في الشكل ٧-١٧ بأسمهم ذات رأسين). إحدى وظائف خلايا الكبد هي تحويل حامض اللاكتيك الناتج من التخمر في العضلات مرة أخرى إلى جلوكوز ٦- فوسفات ثم إلى جلوكوز (يذهب إلى الدم) أو إلى جلايكوجين (للتخزين). خلايا الكبد تستعمل العديد (وليس كل) إنزيمات الجلوكزة لهذا الغرض. وربما لا يوجد مسار هدمي واحد يمكن عكس إتجاه بالكامل بدون تدخل بعض إنزيمات فريدة في عملية البناء. من أجل أن يتم تخليق الجلوكوز ٦- فوسفات إلى جلايكوجين لابد من توفر ثلاثة إنزيمات ليست هي الإنزيمات التي تحفز تحول الجلايكوجين إلى جلوكوز ٦- فوسفات (الشكل ٧-١٧).

الانفصال الجزئي للمسارات البنائية والهدمية هو إستراتيجية جيدة بالنسبة للخلية. فبعض التفاعلات الهدمية تكون غير عكسية ولا بد من إيجاد وسيلة أسهل لمعاودة صعود المسار الأيضي. كذلك فإن فصل خطوات البناء عن خطوات الهدم يمكن الخلية من ممارسة آليات منفصلة للتحكم في كل عملية. فمثلا تراكم الجلوكوز ٦- فوسفات

يمكن أن يقود إلى تزايد التنفس الخلوي كنتيجة لتزايد إحدى مواد التفاعل في تفاعل عكسي . ولكن ذلك يكون ملائماً فقط عندما تعاني الخلية من نقص في ATP . وفي الواقع يتحكم مستوى ATP في هذا المسار الهلامي (بواسطة الفوسفوفركتوكينين) كما رأينا في القسم ٧-١٥ . ومع ذلك يقوم الجلوكوز ٦- فوسفات بتنشيط الانزيم الأخير في تخليق الجللايكوجين (تنشيط المادة البادئة - انظر القسم ٦-١٠) وسوف ينسحب إلى هذا المسار البنائي إذا لم يكن مستخدماً في التنفس الخلوي . وتجدر الإشارة هنا إلى أن التفاعلات البنائية والهدمية غالباً ما تكون منفصلة مكانياً أيضاً . فقد عرفنا الدور الذي تلعبه الميتوكوندريا في الهدم . بينما يتطلب العديد من التفاعلات البنائية إنزيمات سيتوبلازمية أو الانزيمات الموجودة على الشبكة الاندوبلازمية وفي أماكن أخرى .

يختلف تخليق البروتينات والأحماض النووية من وحداتها الأصلية في ناحية جوهريّة عن تخليق عديدات السكر والدهون . النشا (الجللايكوجين) والسيليلوز هي بلمرات مركبة من نفس الوحدات وهي الجلوكوز . تشترك عدة أصناف من الأحماض الدهنية في تركيب الدهون ولكن تركيب الجزيئات يكون بسيط للغاية . إلى حد ما تكون هذه الجزيئات الكبيرة متشابهة أياً كان الكائن الذي توجد فيه . ولكن الموقف يختلف تماماً في تخليق البروتينات والأحماض النووية . فهذه الجزيئات هي بلمرات معقدة والتتابع المطلق الذي ترتب به الوحدات فيها جوهري جداً لوظائفها . لا يمكن تخليقها ببساطة عن طريق عكس الهدم لأنه لا بد من تخليقها بعملية تجميع لوحدها في ترتيب محدد . هذه الجزيئات إذن تحتوي على معلومات وهذه المعلومات في بعض الأحيان تكون فريدة للكائن الذي يتم تخليقها فيه . في أجسامنا قد نهدم البروتين البقري أو بروتين البقول ولكننا نبني فقط بروتين الانسان . الآليات التي نبني بها تتابعات دقيقة التنظيم من الوحدات في أحماضنا النووية وبروتيناتنا هي موضوع الباب ١٣ .

وكما تنطلق الطاقة من الهدم فإن البناء يتطلب طاقة . وبالطبع فإن الطاقة المنطلقة بالهدم - في صورة ATP - هي التي تستخدم في البناء . من أجل أن تتجمع الأحماض الأمينية لتكوين بروتينات فإنه لا بد من تنشيطها أولاً . الطاقة اللازمة لذلك تأتي من ATP . الوحدات البنائية للأحماض النووية هي نيوكليوتيدات بها روابط فوسفاتية عالية الطاقة إحداها في الواقع هي ATP . البقية (أي GTP , CTP , UTP) للحامض RNA ومشتقاتها منزوعة الأوكسجين للحامض DNA ) تتلقى روابطها الفوسفاتية عالية

الطاقة من ATP . ومن أجل أن تتجمع جزيئات الجلوكوز لتكوين النشا أو السيليلوز فإنه لابد من تنشيطها أولا . وتأتي الطاقة اللازمة لذلك من ATP . تخليق الدهون أيضا يتطلب ATP .

في مناقشتنا للتنفس الخلوي (القسم ٧-١٥) لاحظنا العديد من المركبات الوسيطة التي تربط هدم المواد الكربوهيدراتية بهدم الدهون والبروتينات (الشكل ٧-١٧) . نقاط الربط هذه تعمل كصمامات ذات اتجاهين فهي بمثابة نقاط دخول ليس فقط إلى هدم (تنفس خلوي) الأحماض الدهنية والجليسرول والأحماض الأمينية ولكن أيضا إلى تخليقها . وعلى ذلك فإن هدم النشويات يمكن أن يؤدي (من خلال أسيتايل - كوا و PGAL) إلى تخليق الدهن كثيرا ما يحدث ذلك . الكثير من البروتين الذي نستهلكه يتحول في النهاية إلى جلوكوز ليعمل كوقود للمخ وللأنسجة الأخرى . وعلى الرغم من أن كل أغذيتنا قابلة للتحويل إلى بعضها البعض بدرجة ما فإن ذلك لا يحدث بالكامل . وبعبارة أخرى لا يوجد غذاء واحد يستطيع أن يغطي كل إحتياجاتنا البنائية . يمكننا بالفعل تخليق دهون عديدة من الجلوكوز ولكن دهون معينة (غير مشبعة) لا يمكن تخليقها ولا بد من الحصول عليها مباشرة مع الغذاء . وعلى الرغم من أننا نستطيع تخليق ١٢ حمض أميني من أصول كربوهيدراتية فإنه لابد لنا من الحصول على ثمانية أحماض أخرى (الأحماض الأمينية " الأساسية essential ") مباشرة .

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

في هذا الباب درسنا الآلية المعقدة التي تستغل بها الخلايا الحية الطاقة الحرة للجزيئات العضوية في القيام بنشاطاتها المختلفة . من أهم النشاطات التفاعلات البنائية التي يتم فيها تخليق التجمعات المنظمة والمعقدة من الجزيئات الكبيرة في الخلية . كل العملية - ومن ثم الحياة نفسها - تعتمد على الأزواج بين التفاعلات الهدمية التي تطلق الطاقة الحرة ( $\Delta G$ ) و التفاعلات البنائية التي تحتفظ بها ( $\Delta G$ ) . ولكن هذه الأزواج لا تقترب من الكفاءة التامة حيث يفقد دائما قدر من الطاقة على هيئة حرارة . الحرارة لا تستطيع أداء عمل (طاقاتها لم تعد حرة) ولذلك لو كانت القصة التي رويناها هي كل القصة لضرب معين الطاقة الحرة منذ زمن بعيد وتوقفت الحياة .

بتعبير مجازي آخر فإننا نخصصنا هذا الباب لدراسة طريقة تفريغ بطارية الحياة .

ولكن إذا كان لأي بطارية أن تستمر في أداء عملها فانه لابد من إعادة شحنها من وقت لآخر . إعادة شحن بطارية الحياة يتم بالبناء الضوئي وهو الموضوع التالي في دراستنا .

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - ماهو الغذاء الذي يطلق أكبر كمية من الطاقة؟
- ٢ - ما هي الاختلافات بين التخمر الكحولي وتخمر حامض اللاكتيك؟
- ٣ - باستخدام البيانات في الشكل ٣-٢٣ احسب الطاقة الحرة المنطلقة ( $\Delta G$ ) - عندما يحترق ١ مول من حامض البالميتيك ( $C_{16}H_{31}COOH$ ) لتكوين ثاني أكسيد كربون وماء.
- ٤ - ماهي أوجه التشابه بين عمليتي صناعة الخبز وصناعة البيرة ؟ وما هي أوجه الاختلاف بينهما؟
- ٥ - ماهي الحاصيلة النهائية من ATP الناتج من تنفس ١ مول من الجلوكوز إذا حدثت الجلوكزة في الميتوكوندريا وليس في السائل الخلوي؟
- ٦ - لماذا يستخدم السعر أيضا كمقياس للطاقة الكيميائية وهو وحدة الطاقة الحرارية؟
- ٧ - كم عدد المولات التي تستهلك عند تنفس ٢ مول من الجلوكوز؟ وكم عدد المولات من ثاني أكسيد الكربون تنتج؟
- ٨ - ما هي النسبة بين مولات الأوكسجين المستهلك ومولات ثاني أكسيد الكربون الناتج من تنفس الجلوكوز؟
- ٩ - ماذا يحدث لهذه النسبة عندما تستخدم الدهون كوقود في التنفس الخلوي؟
- ١٠ - لماذا يتم تخمير المشروبات الكحولية عادة في حاويات محكمة الاغلاق؟
- ١١ - ماهو أكبر وزن من الكحول يمكن أن تنتجه خلايا الخميرة من ٩٠ جم جلوكوز؟
- ١٢ - ماذا تكون الحاصيلة النهائية من جزئيات ATP حينما يستخدم الجلايكوجين بدلا من الجلوكوز لانتاج الجلوكوز فوسفات في التنفس الخلوي؟
- ١٣ - ماهي حاصيلة الطاقة الحرة عندما يمر ١ مول من أزواج الالكترونات من سيتوكروم س إلى سيتوكروم أ ؟ هل يمكن إستغلال هذه الخطوة في تخليق ATP اشرح .

REFERENCES

المراجع

1. CHAPPELL, J.B., and S.C. REES, Mitochondria, Oxford Biology Readers, No. 19, Oxford University Press, Oxford, 1972.
2. NICHOLLS, P., Cytochromes and Biological Oxidation, Oxford Biology Readers, No. 66, Oxford University Press, Oxford, 1975.
3. HINKLE, P.C., and R.E. MCCARTY, How Cells Make ATP. Scientific American, Offprint No. 1383, March, 1978. The chemiosmotic theory applied to both oxidative phosphorylation and photophosphorylation.
4. CHAPPEL, J.B., ATP, Carolina Biology Readers, No. 50, Carolina Biological Supply Co., 1977.

## CHAPTER 8

## الباب الثامن

### PHOTOSYNTHESIS

### البناء الضوئي

EARLY EXPERIMENTS	التجارب الأولى . ١-٨
THE PIGMENTS	الأصبغ . ٢-٨
CHLOROPLASTS	البلاستيدات الخضراء . ٣-٨
THE LEAF	الورقة . ٤-٨
FACTORS LIMITING THE RATE OF PHOTOSYNTHESIS	العوامل المحددة لمعدل البناء الضوئي . ٥-٨
THE DARK REACTIONS	تفاعلات الظلام . ٦-٨
THE LIGHT REACTIONS	تفاعلات الضوء . ٧-٨
THE EFFECT OF LIGHT ON CHLOROPHYLL	تأثير الضوء على الكلوروفيل . ٨-٨
PHOTOSYSTEMS I AND II	النظم الضوئية ١، ٢ . ٨-٨
CYCLIC PHOTOPHOSPHORYLATION	الفسفرة الضوئية الحلقية . ٨-٩
C <sub>4</sub> PLANTS	نباتات ك <sub>4</sub> . ٨-٩
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل
REFERENCES	المراجع





## الباب الثامن

### البناء الضوئي

يعتمد التنظيم والنشاط الوظيفي للخلية الحية على المدد الذي لا ينقطع من الطاقة. وكما شاهدنا في الباب (٧) فإن مصدر هذه الطاقة هو الطاقة الحرة المختزنة في الجزيئات العضوية مثل الكربوهيدرات. الكائنات متبانية التغذية \* heterotrophic organisms مثل الخميرة ومثلنا نمحاً وتنمو بأخذ جزيئات عضوية في خلاياها. في الباب السابق درسنا كيفية عمل هذه الجزيئات كمصادر للطاقة الحرة في الخلايا. وكوحدات تركيبية لبناء الجزيئات الكبيرة في الخلية. من أين نحصل على هذه الجزيئات؟

المصدر الوحيد لجزيئات الوقود التي تعتمد عليه كل صور الحياة هو البناء الضوئي. النباتات الخضراء والطحالب تكون ذاتية التغذية أي أنها قادرة على حبس الطاقة الشمسية لتخليق جزيئات عضوية غنية بالطاقة من المواد غير العضوية الماء وثنائي أكسيد الكربون. وفي النهاية فإن بقاء كل صور الحياة على الأرض مرهون بعملية البناء الضوئي. الشكل ٨-١ يعكس الحقيقة الأحيائية الأساسية: الكائنات متبانية التغذية تعتمد في بقائها على الكائنات ذاتية التغذية. فقد نتغذى على لحم البقر ولكن الثور تغذى على الأعشاب.

#### EARLY EXPERIMENTS

#### ٨-١. التجارب الأولى

ربما كانت أولى التجارب المصممة لاستكشاف طبيعة البناء الضوئي هي تلك التي قام بها الطبيب الهولندي فان هيلمونت في عام ١٦٤٨. وقبل ذلك بسنوات وضع فان

\* أو غير ذاتية التغذية أو شاذة التغذية (المترجم)



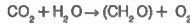
الشكل ٨-١

هيلمونت ٢٠٠ رطل من التربة في إصيص كبير سبق تخفيفه تماما في الفرن. ثم بلل التربة بهاء المطر وغرس به ساق صفصاف زنتة خمسة أرتال. بعد ذلك وضع الأصيص في التربة وغطى حافته بلوح من الحديد المثقب لكي تسمح الثقوب بوصول الماء والهواء إلى التربة بينما تقلل من فرص دخول شوائب إلى الأصيص من الخارج (الشكل ٨-٢). واستمر فان هيلمونت يروي نباته بهاء المطر أو الماء المقطر لمدة خمس سنوات بعدها نزع النبات بعناية فوجد أنه قد اكتسب ١٦٤ رطلا و ثلاث أوقيات (لم يشمل هذا الوزن وزن الأوراق التي تساقطت خلال ٤ مواسم خريفية) ثم أعاد تخفيف التربة فوجد أن وزنها يقل بمقدار ٢ أوقية عن الوزن الأصلي وهو ٢٠٠ رطل. وقد إستنتج فان هيلمونت من هذه الحقائق التجريبية أن الزيادة في وزن الصفصاف جاءت من الماء وحده ولم يأخذ في إعتباره أن الغازات والهواء لها دخل بذلك.

جاء أول دليل على مشاركة الغازات في البناء الضوئي من جوزيف بريستلي في عام ١٧٧٢. فقد عرف أنه عندما توضع شمعة مشتعلة في حيز محكم الأغلاق فأنها لاتلثح أن تنطفئ ء وإذا وضع في غرفة مغلقة فأنه سرعان ما يخنثق لأن عملية الاحتراق تستنفذ

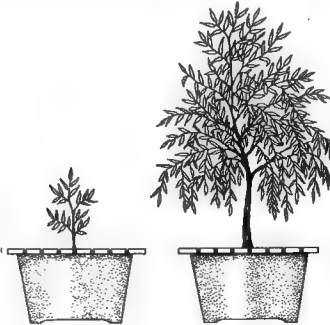
كل الأوكسجين في الهواء وهو نفس الغاز الذي تعتمد عليه الحيوانات في التنفس . ومع ذلك فقد إكتشف بريستي أنه عند وضع نبات في جو خال من الأوكسجين فإنه يعوض هذا الأوكسجين بحيث يمكن للفأر أن يحيا في هذا الخليط من الغازات . وقد ظن بريستي ببساطة أن نمو النبات هو السبب في ذلك . ولكن الطبيب الهولندي إنجن - هوز هو الذي إكتشف في عام ١٧٧٨ أن التأثير الذي لاحظته بريستي لا يحدث إلا إذا كان النبات مضاءاً . فالنبات الموجود في حيز مغلق في الظلام يستهلك أوكسجين تماماً مثل الفأر أو الشمعة .

يصاحب نمو النباتات زيادة في محتواها من الكربون وقد إكتشف القس السويسري جين سينبير أن مصدر هذا الكربون هو ثاني أكسيد الكربون وأن إنطلاق الأوكسجين أثناء البناء الضوئي يصاحب أخذ ثاني أكسيد الكربون . وقد إستنتج سينبير (خطأ كما سنري في القسم ٨-٧) أن ثاني أكسيد الكربون يتحلل بحيث يدخل الكربون في تركيب المادة العضوية لجسم النبات بينما ينطلق الأوكسجين .

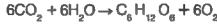


(الفوسان حول  $\text{CH}_2\text{O}$ ) يعنيان عدم تحديد مركب معين وأنها النسبة بين الذرات في جزيء الكربوهيدرات مثل الجلوكوز  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  وتوضح المعادلة كذلك أن النسبة

الشكل ٨-٧ . تجرية فان هيلمونت . زاد وزن نبات الصفصاف بحوالي ١٦٤ رطل في مدة تزيد على خمس سنوات بينما لم يتغير وزن التربة تقريباً .



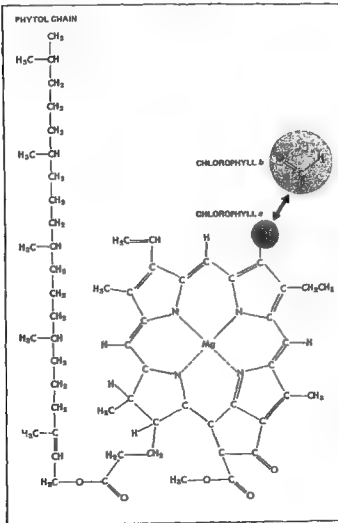
بين ثاني أكسيد الكربون المستهلك والأكسجين المنطلق هي ١ : ١ وهو الاكتشاف الذي تم التوصل إليه بعناية في السنوات التي تلت عمل سينير. وإذا أخذنا الجلوكوز كمثال للكربوهيدرات الناتج فإننا نستطيع كتابة معادلة البناء الضوئي على النحو الآتي:



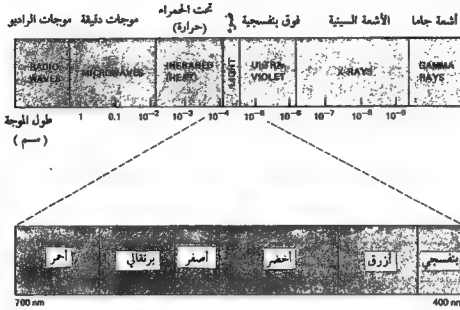
## THE PIGMENTS

## ٨-٢. الأصباغ

خلال تجاربة أوضع إنجن - هوز كذلك أن الأجزاء الخضراء فقط من النبات هي التي ينطلق منها الأكسجين أثناء البناء الضوئي. أما الأجزاء غير الخضراء مثل السوق



الشكل ٨-٣. تركيب الكلوروفيل أ و الكلوروفيل ب. ب. تجمعات مجموعة C=O المتصلة بحلقة البورفيرين تجعل هذه المنطقة عمبة للماء. سلسلة الفاسيتول شديدة الكراهية للماء. لاحظ الترتيب التبادلي للروابط المفردة والمزدوجة التي توجد حول حلقة البورفيرين (ملونة). الأليكترونات الإضافية للروابط المزدوجة ليست محدودة في المواقع المبنية ولكنها في الواقع حرة في الانتقال حول النظام. هذه الخاصية هي التي تجعل الجزيء يمتص طاقة الضوء بكفاءة.



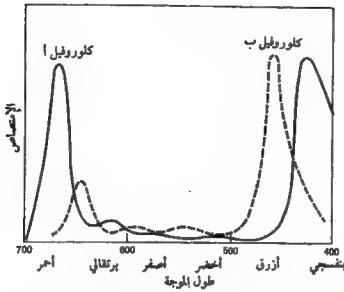
الشكل ٨-٤. طيف الاشعاع الكهرومغناطيسي. حوالي نصف الطاقة التي تصل الى سطح الأرض من الشمس تكون على هيئة ضوء أي أنها تقع في الجزء المرئي من الطيف والباقى في صورة حرارة وكمية قليلة من الضوء فوق البنفسجي.

الخشبية والجذور والأزهار والثمار فأنها في الواقع تستهلك الأوكسجين في عملية التنفس . ونحن نعرف الآن أن سبب ذلك هو أن البناء الضوئي يحدث فقط في وجود الصبغة الخضراء المسماة بالكلوروفيل (أو اليخضور) Chlorophyll.

تركيب جزئى الكلوروفيل معروف . فهو يتكون من بورفيرين يشبه في تركيبه بورفيرين الهيم الذي يكون المجموعة الفعالة في الهيموجلوبين والميوجلوبين وأنزيمات السيوكروم . الاختلافات الرئيسية بين الكلوروفيل والهيم هي وجود: (١) ذرة مغنسيوم (بدل الحديد) في مركز حلقة البورفيرين - (٢) سلسلة جانبية هيدروكربونية طويلة هي سلسلة الفاتيلول phytyl chain (الشكل ٨-٣) .

يوجد في النباتات نوعان من الكلوروفيل هما كلوروفيل أ وكلوروفيل ب . والفرق الطفيف بين هذين النوعين من الكلوروفيل مبين في الشكل ٨-٣ . في الخلية يكون كلوروفيل أ وكلوروفيل ب مرتبطين بالبروتين .

تعد الكلوروفيلات أصباغ لأنها تمتص الضوء أي الأشعاع الكهرومغناطيسي في الطيف المرئي (الشكل ٨-٤) . فالضوء الأبيض (مثل ضوء الشمس) يحتوي على كل

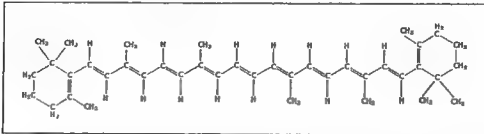


الشكل ٨-٥.  
طيف الامتصاص  
للكلوروفيل أ  
والكلوروفيل ب.

ألوان الطيف المرئي من الأحمر إلى البنفسجي ولكن الكلوروفيل لا يمتص كل أطوال الموجة التي يتكون منها بنفس الدرجة. ومن الممكن تحديد درجة إمتصاص كل طول موجة (لون) بأضائة محلول الكلوروفيل بضوء وحيد اللون وقياس كمية الضوء التي تمر في المحلول بمقياس ضوئي حساس. ويتكرر هذه العملية مع ضوء وحيد اللون حتى نغطي كل ألوان الطيف المرئي يمكن رسم طيف إمتصاص ab-sorption spectrum (الشكل ٨-٥).

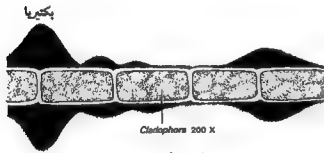
لاحظ أن الكلوروفيل أ والكلوروفيل ب يمتصان الضوء بأعلى قدر في منطقتي اللون الأحمر واللون البنفسجي من الطيف بينما يكون إمتصاصهما للضوء الأخضر ضئيلاً للغاية. وعلى ذلك فعندما يسطع الضوء الأبيض على التراكيب المحتوية على الكلوروفيل مثل الأوراق فإن الأشعة الخضراء تنعكس وتكون النتيجة أن تبدو هذه التراكيب خضراء.

تحتوي الخلايا النباتية الخضراء بالإضافة إلى الكلوروفيل أ والكلوروفيل ب على عدة أنواع من أشباه الكاروتينات carotenoids. هذه الجزيئات هي أيضاً أصباغ ذات ألوان تتراوح بين الأحمر والأصفر ويكون أعلى إمتصاص للضوء بواسطتها في منطقة اللون الأزرق من الطيف وغالباً ماتكون أشباه الكاروتينات هي الأصباغ الغالبة في الأزهار والثمار. فاللون الأحمر للطلحاطم الناضجة واللون البرتقالي للعجز مرجعها إلى

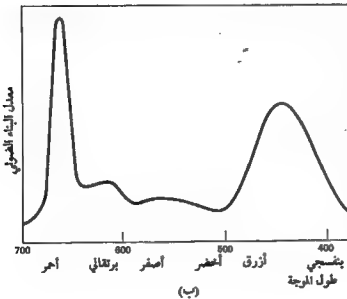


الشكل ٨-٦. بيتاكاروتين - أحد أكثر أصباغ الكاروتينات انتشاراً. لاحظ التبادل بين الروابط المفردة والمزدوجة التي تحمل الجزءية، يمتص الضوء بكفاءة. كثير من الحيوانات تستخدم البيتا كاروتين الذي تتناوله كمصدر لتخليق فيتامين أ.

بالخيوط وضع بكتريا هوائية متحركة . وبعد بضع دقائق من الإضاءة وجد أن البكتريا قد تجمعت وبلغت قمة نشاطها حول أجزاء الخيوط المضاءة بالضوء الأحمر والضوء الأزرق (الشكل ٧-٨). وعلى فرض أن البكتريا قد تجمعت عند مناطق تصاعد الأوكسجين فقد إستنتج إنجليبان أن الأشعة الحمراء والأشعة الزرقاء هي أكثر الألوان فاعلية بالنسبة للبناء الضوئي . وإذا رسمنا فاعلية كل لون من ألوان الضوء في تنشيط البناء الضوئي نحصل على طيف النشاط action spectrum (راجع الشكل ٧-٨) . التشابه بين طيف النشاط للبناء الضوئي وطيف الامتصاص للكلوروفيل يرجح أن الكلوروفيلات هي أهم الأصباغ في هذه العملية . ومع ذلك فهذه الأطياف ليست متطابقة مما يرجح أن أشباه الكاروتينات تلعب دورا في البناء الضوئي ويبدو أنها تساعد في ملء فراغات الامتصاص حتى يمكن إستغلال القدر الأكبر من طيف الشمس .



(أ)



(ب)

الشكل ٧-٨ .  
(أ) تجربة إنجليبان .  
(ب) طيف النشاط في  
البناء الضوئي .





الشكل ٨-٨. البلاستيدة الخضراء (٤٠٠٠٠ مرة)  
من خلية ورقة الذرة. التركيب التي تشبه صفوف من  
قطع العملة هي الحبوب المحتوية على الكلوروفيل.  
(بتصريح من د. ل. ك. شومواي. الوراثة والنبات  
- جامعة ولاية واشنطن).

والطاقة التي تمتصها اشباه الكاروتينات تنتقل الى كلوروفيل أ حيث تستغل في البناء الضوئي ومن المحتمل أن يكون لكلوروفيل ب وظيفة مشابهة .

### CHLOROPLASTS

### ٨-٣. البلاستيدات الخضراء

البلاستيدات الخضراء الموجودة في خلايا النبات هي تراكيب مفلطحة يبلغ متوسط طولها حوالي ٧ ميكرون وعرضها ٣-٤ ميكرون (الشكل ٨-٨). يحيط بكل منها من الخارج زوج من الأغشية الملساء. تضم هذه الأغشية وسطاً سائلاً يسمى الحشوة stroma ونظام معقد من الأغشية الداخلية. وتكون الأغشية الداخلية مطبقة مع بعضها في أزواج تسمى الصفائح lamellae وبصفة دورية تتضخم الصفائح فتكون مثنائات مفلطحة محاطة بأغشية تسمى ثايلاكويدات \* thylakoids وتترتب الثايلاكويدات في صفوف كأنها قطع عملة متراصة. تعرف هذه الصفوف من الثايلاكويدات باسم الحبوب grana (الشكل ٨-٩).

الأغشية مثل الأغشية الأخرى في الخلية هي طبقات مزدوجة من الليبيد تحتوي على

\* (أو أغشية أشباه الحجيرات)



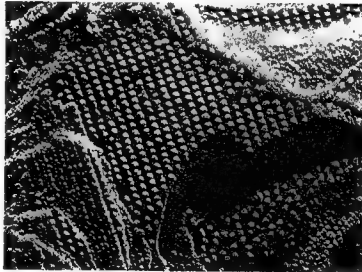
تكون بارزة أعلاها . أشباه الكاروتينات شديدة الكراهية للماء ويعتقد أنها غائرة بالكامل في طبقة الليبيد المزدوجة (الشكل ٨-٩) .

الفحص المجهرى الألكتروني للأغشية الثايلاكويدية يبين وجود تجمعات كثيفة من الدقائق المنغمسة في طبقة الليبيد المزدوجة للأغشية (الشكل ٨-١٠) وتأتي هذه الدقائق في ثلاثة أحجام أكبرها تحوي الأنزيمات المستخدمة في تخليق ATP وهذه الدقائق في البلاستيدات تكافيء الأقراص الموجودة على الثنيات في الميتوكوندريا (أرجع الى الشكل ٧-١١) على الرغم من أنها تتجه نحو خارج الغشاء وليس نحو داخله كما في حالة الميتوكوندريا . أما النوعان الآخران من الدقائق فيحتمل أنها يحتويان على الأصباغ والأنزيمات المستعملة في إتمام المراحل الضوئية من البناء الضوئي أي ما يسمى بالتفاعلات الضوئية .

الحشوة في البلاستيدات الخضر غنية كذلك بالأنزيمات وبالإضافة الى ذلك فهي تحتوي على DNA والعديد من الريبوسومات . وهذه الريبوسومات تكون أصغر من تلك الموجودة في سيتوبلازم الخلية . ويفسر وجود DNA النشأة الذاتية للبلاستيدات الخضر فهي إما أن تنشأ من انقسام بلاستيدة واحدة الى بلاستيدتين أو عن طريق ظهور جسيمات ضئيلة عديمة اللون تسمى البلاستيدات الأولية proplastids . الضوء ضروري لتحول البلاستيدات الأولية الى بلاستيدات خضر وهذا يفسر اللون الباهت

الشكل ٨-١٠ . صورة بالمجهر الألكتروني للسطح الداخلي لغشاء ثايلاكويدي (١٢٠٠٠٠ مرة)

كل واحدة من الدقائق  
قد تمثل مركب معقد من  
الأصباغ وجزيئات  
الأنزيم التي تعمل في  
النظام الضوئي ٢ . في  
البلاستيدة الخضراء  
العاملة فان هذه الدقائق  
قد لا تكون مرتبة بنفس  
النظام الموضح هنا .



(بصريح من كينيث د.  
ميلر - جامعة براون) .

للبادرات النامية في الظلام (الشكل ٨-١١). وللبلاستيدات الأولية القدرة على مضاعفة نفسها وفي الحقيقة فإن هذا هو السبيل الوحيد الذي تنشأ منه بلاستيدات أولية جديدة فأشوية الخلايا النباتية لا تستطيع تصنيعهم. وعلى ذلك فكلما قامت الخلايا الخضر بالأنقسام غير المباشر فإنه من الضروري أن تتلقى كل واحدة من الخليتين البنويتين بلاستيدات أولية في السيتوبلازم الى جانب ما تتلقاه من كروموسومات النواه.

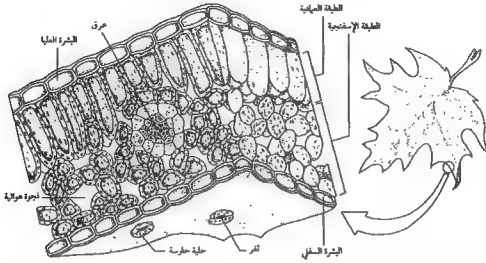
#### ٨-٤ . الورقة

#### THE LEAF

في النباتات الراقية تكون البلاستيدات الخضر بصفة عامة محصورة في السوق الحديثة والثمار غير الناضجة والأوراق. والأوراق هي المصانع الحقيقية للبناء الضوئي في النبات. القطاع العرضي في نصل ورقة نموذجية يكشف وجود عدة طبقات نسجية متميزة (الشكل ٨-١٢). السطح العلوي للورقة تغطيه طبقة واحدة من الخلايا هي البشرة العليا upper epidermis وهذه الخلايا تحوى القليل من البلاستيدات الخضر أو تكون خالية منها تماما وهي لذلك شفافة وتسمح بمرور معظم الضوء الساقط عليها الى



الشكل ٨-١١. بادرة  
القول النامية في الضوء (الى  
اليسار) وفي الظلام (الى  
اليمن). اللون الشاحب  
للنبات النامي في الظلام نشأ  
عن نقص الكلوروفيل  
وعندما تغد المواد الغذائية  
المخترزنة في البكرة تموت  
البادرة. كل بادرة فيها ثلاث  
عقد ولكن السلايمات في  
النبات النامي في الظلام  
تستطيل وهو ما يسمى  
الإصفرار etiolation.



الشكل ٨-١٢. تركيب ورقة نموذجية كما يرى في المقطع العرضي. تقدم خلايا الطبقة المعادية بمعظم البناء الضوئي في الورقة. في بعض الأوراق وخاصة تلك المعرضة لسطوع الشمس قد توجد طبقة أو طبقتان من الخلايا المعادية.

الخلايا الداخلية كما أنها تفرز مادة شمعية شفافة تسمى الكيتوتين cutin هذه المادة تكون طبقة الأدمة cuticle وهي بمثابة حاجز في وجه الرطوبة فتقلل فقد الماء من الورقة.

يوجد تحت خلايا البشرة العليا صف أو صفان من خلايا تشكل الطبقة المعادية palisade layer. وهذه الخلايا أسطوانية الشكل وتنتج بحيث يكون محورها الطولي عمودي على مستوي الورقة وكل منها ممتلئة بالبلاستيدات الخضراء كما يتبادر الى الذهن فإن هذه الخلايا تقوم بمعظم البناء الضوئي في الورقة. وشكل هذه الخلايا ملائم تماما لهذه الوظيفة فهي مرتبة بحيث يتعرض أكبر عدد منها لأشعة الشمس. وبالإضافة الى ذلك فإن طولها يزيد من فرصة إمتصاص البلاستيدات الخضراء للضوء الداخل الى الخلية.

تحت الطبقة المعادية توجد الطبقة الإسفنجية spongy layer. وخلايا الطبقة الإسفنجية غير منتظمة الشكل وغير متزاحمة. وعلى الرغم من وجود قلة من البلاستيدات الخضراء بها فإنه يبدو أن وظيفتها الأساسية هي الاحتزان المؤقت لجزيئات الغذاء التي أنتجتها خلايا الطبقة المعادية كما أنها تساعد في تبادل الغازات بين الورقة والجو الخارجي. أثناء ساعات النهار تفرز هذه الخلايا أوكسجين وبخار ماء في الفراغات الهوائية المحيطة بها كما تلتقط ثاني أكسيد الكربون من الهواء الموجود في هذه

الفراغات الهوائية . هذه الفراغات الهوائية متصلة ببعضها البعض وفي النهاية تفتح على الخارج بواسطة فتحات خاصة تسمى الثغور stomata (مفردا ثغر stoma)

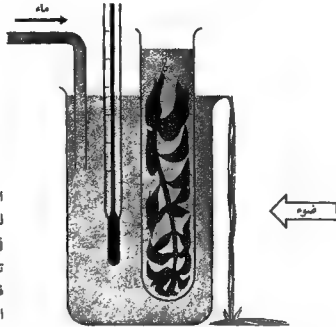
في معظم النباتات توجد الثغور بصفة أساسية في البشرة السفلي lower epidermis للورقة . أنجن - هوز نفسه بين لأول مرة أن الأوراق التي تقوم بالبناء الضوئي يتصاعد منها الأوكسجين بسرعة أكبر عند السطح السفلي عنه عند السطح العلوي . وجود حوالي ١٠٠٠٠٠ ثغر في السنتيمتر المربع الواحد من السطح السفلي لأوراق البلوط وغياها تماما في السطح العلوي يفسر ذلك بسهولة .

معظم خلايا البشرة السفلي تشبه خلايا البشرة العليا . ومع ذلك توجد خليتان كلويتا الشكل حول كل ثغر تسميان الخليتان الحارستان guard cells . ولا تختلف الخلايا الحارسة عن بقية خلايا البشرة السفلي في الشكل فقط وإنما في إحتوائها على أعداد كبيرة من البلاستيدات الخضراء كذلك . وتنظم الخلايا الحارسة فتح وغلق الثغور وبذلك يكون لها قدر كبير من التحكم في تبادل الغازات بين الورقة والجو المحيط بها .

## ٨-٥ . العوامل المحددة لمعدل البناء الضوئي

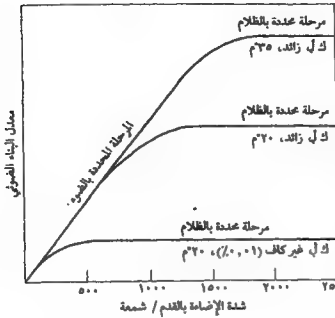
### FACTORS LIMITING THE RATE OF PHOTOSYNTHESIS

معادلة البناء الضوئي  $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$  تبين العلاقة بين المواد الداخلة في العملية والمواد الناتجة منها ولكنها لا تقول لنا شيئا عن الخطوات الوسيطة للعملية . وقد تبين من تجارب العالم البريطاني ف . ف . بلاكان أن البناء الضوئي يشتمل على عمليتين متميزتين تماما ويمكن تكرار نفس نتائجه التجريبية من خلال الجهاز المبين في الشكل ٨-١٣ . النبات المائي الأخضر إلوديا *Elodea* (موجود في محلات بيع لوازم الأحواض المائية) هو الكائن الاختباري . حينما يوضع فرع رأسا على عقب في محلول مخفف من بيكربونات الصوديوم (التي تعمل كمصدر لثاني أكسيد الكربون) ويضاء بللمة كشاف فإن فقاعات الأوكسجين لا تلبث أن تتصاعد من الجزء المقطوع من الساق . ثم يمكن للمرء أن يعد عدد الفقاعات المتصاعدة في فترة زمنية محددة باستعمال درجات متفاوتة من شدة الأضاءة ويرسم هذه المعلومات بيانيا ينبغي أن نحصل على رسم كال المبين في الشكل ٨-١٤ .



الشكل ٨-١٣ . جهاز  
لتحديد معدل البناء الضوئي  
في الالوديا وهو نبات مائي.  
تؤخذ القياسات بعدد  
فقاعات الأوكسجين  
المتصاعدة من الساق.

حيث أن معدل البناء الضوئي لا يستمر في الزيادة بزيادة شدة الضوء إلى ما لا نهاية فقد إستنتج بلاكان أن هناك على الأقل عمليتان متميزتان : الأولى هي تفاعل يلزمه ضوء و الثانية تفاعل لا يلزمه ضوء . وهذا الأخير يسمى تفاعل ظلام على الرغم من أنه يمكن أن يتم في وجود الضوء . وضع بلاكان نظريته التي مؤادها أنه عند شدة الأضاءة المعتدلة فإن تفاعل الضوء يحدد أو ينظم إيقاع العملية كلها . وبعبارة أخرى عند شدة الأضاءة المعتدلة فإن تفاعل الظلام يمكنه التعامل مع كل المواد الوسيطة الناتجة من تفاعل الضوء . ومع زيادة شدة الضوء فإنه لا بد من الوصول الى نقطة يعمل تفاعل الظلام عندها بأقصى طاقة وأي مزيد من الأضاءة لن يكون له تأثير وتصل العملية الى معدل ثابت . وتكتسب هذه النظرية مزيدا من القوة مع إعادة التجربة عند درجة حرارة أعلى قليلا . فكما ذكرنا سابقا فإن معظم التفاعلات الكيميائية تتم بصورة أسرع مع زيادة درجات الحرارة (الى نقطة معينة) . عند درجة  $35^{\circ}\text{C}$  لا يثبت معدل البناء الضوئي إلا إذا زادت شدة الأضاءة وهذا يرجع أن تفاعل الظلام يعمل الآن بصورة أسرع . وعند شدة الأضاءة المنخفضة لا يكون معدل البناء الضوئي عند درجة  $35^{\circ}\text{C}$  أعلى منه عند درجة  $20^{\circ}\text{C}$  وهذا يؤيد الفكرة أن التفاعل الضوئي هو المحدد للعملية عند شدة الأضاءة هذه . التفاعل الضوئي لا يعتمد على درجة الحرارة ولكنه ببساطة يعتمد على شدة الأضاءة .



الشكل ٨-١٤. معدل البناء الضوئي كدالة لشدة الإضاءة وتركيز ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة، عند الدرجات المنخفضة من شدة الإضاءة يكون الضوء هو العامل المحدد وعند الدرجات العالية من شدة الإضاءة تكون تركيزات ثاني أكسيد الكربون ودرجات الحرارة هي العوامل المحددة.

لا تحدث الزيادة في معدل البناء الضوئي بزيادة درجة الحرارة إذا كان إمداد ثاني أكسيد الكربون محدودا. وكما هو مبين في الشكل ٨-١٤ يصل المعدل العام للبناء الضوئي إلى قيمة ثابتة عند شدة أضواء منخفضة إذا كانت كمية ثاني أكسيد الكربون محدودة. وعلى ذلك لا بد أن يضاف تركيز ثاني أكسيد الكربون كعامل ثالث محدد لمعدل حدوث البناء الضوئي. ومن الناحية العملية فإن تركيز ثاني أكسيد الكربون متاح للنباتات الأرضية هو ببساطة ذلك الموجود في الجو أي ٠.٣ ٪.

## THE DARK REACTIONS

## ٦-٨. تفاعلات الظلام

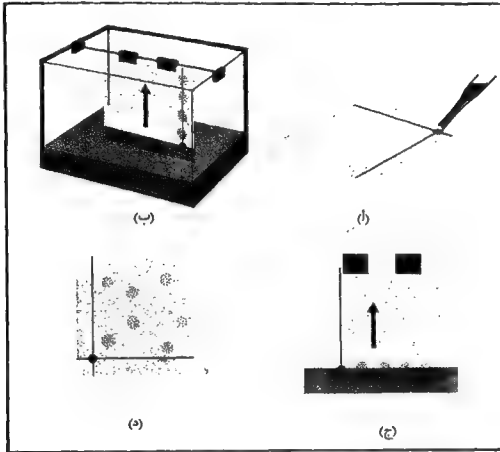
كما نتوقع فإن تفاعل الظلام في البناء الضوئي هو في الحقيقة سلسلة من التفاعلات. تتضمن هذه التفاعلات أخذ النبات لثاني أكسيد الكربون واختزال ثاني أكسيد الكربون بواسطة ذرات الهيدروجين. وقد أمضى دكتور كالفين ومعاونوه من جامعة كاليفورنيا سنوات حتى توصلوا إلى تتابع التفاعلات الكيميائية التي يشملها البناء الضوئي. وقد كان الأسلوب التجريبي الأساسي لديهم هو تعريض معلقات من طحالب خضراء وحيدة الخلية للضوء ولثاني أكسيد الكربون مشع ( $C^{14}$ ) (الشكل ٨-١٥). استخدام الكربون المشع ( $C^{14}$ ) في ثاني أكسيد الكربون يعلم الذرة ويسمح بدراسة تحولاتها الكيميائية.





الشكل ٨-١٥. الجهاز المستخدم في تتبع مصير ثاني أكسيد الكربون المشع في تفاعلات الظلام. يوضع المعلق الطحلبي في الوعاء الذي يصل إليه ثاني أكسيد الكربون المشع ثم يضاء. توقف تفاعلات الظلام بإفراغ عتويات الوعاء في خنجر يحتوي على الكحول الساخن (بتصريح من د. جيمس أ. باشام).

بعد فترات متباعدة من الأضواء يوقف نشاط المعلق الطحلبي وتستخلص محتويات خلاياه ثم يتم فصلها بواسطة عملية تسمى الفصل اللوني الورقي (أو كروماتوجرافي الورق paper chromatography). توضع قطرة من مستخلص الخلايا على طول إحدى حواف مربع من ورق التجفيف ثم تغمس الورقة في مذيب. يرتفع المذيب في اللوحة الورقية بسبب التجاذب الشعري capillary attraction (الشكل ٨-١٦) و يحمل في طريقه المواد الموجودة في قطرة المستخلص الخلوي بمعدلات مختلفة. وبصفة عامة فإن كل مركب ينفرد بمعدل خاص ينتقل به مع مذيب معين. وعندما تكتمل العملية تكون المواد المختلفة قد انفصلت إلى مسافات محددة على لوحة الورق لتكون ما يسمى كروماتوجرام chromatogram. ويمكن التعرف على كل مادة بمقارنة موقعها بمواقع مواد معروفة تحت نفس الظروف أو يمكن قطع الجزء الخاص بالمادة من اللوحة الورقية



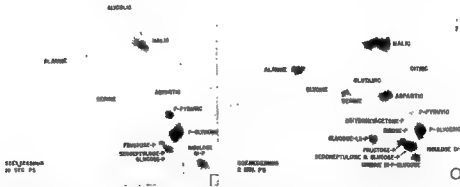
الشكل ٨-١٦. فصل مكونات مخلوط بواسطة الفصل اللوني الورقي ذو الاتجاهين. (أ) و (ب) عندما توضع قطرة في مذيب مناسب عند الركن الأيمن الأسفل للورقة فإن المواد في هذه القطرة تنفصل جزئياً كلها تحركت لأعلى. (ج)، (د) يمكن التوصل إلى المزيد من الفصل بلف الورقة بمقدار ٩٠ واستعمال مذيب مختلف.

ثم إجراء اختبارات تحليلية دقيقة على الكمية القليلة الموجودة به من المادة.

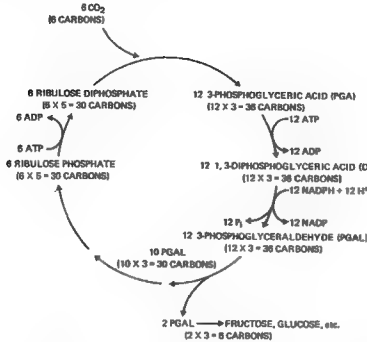
ولتحديد أي المواد المفصولة على الكروماتوجرام هي المشعة توضع لوحة من فيلم حساس للأشعة السينية على الكروماتوجرام فإذا ظهرت بقع داكنة على الفيلم (بسبب الأشعاع الصادر عن ذرات  $C^{14}$ ) يمكن الربط بين مواقعها ومواقع بقية المواد الكيميائية على الكروماتوجرام. وباستخدام هذه الطريقة المسماة التصوير الإشعاعي الذاتي *autoradiography* وجد كالفن أن  $(C^{14})$  قد ظهر في جزيئات الجلوكوز بعد ٣٠ ثانية من بدء البناء الضوئي وعندما سمح بخمس ثوان فقط إكتشف وجود الأشعاع في عدة جزيئات أخرى صغيرة (الشكل ٨-١٧). وبالتدرج أمكن تحديد مسار عملية

## تثبيت الكربون.

واحد من أهم المركبات في هذه العملية هو سكر خماسي الكربون ومفسفر يسمى فوسفات الريبيلوز ribulose phosphate. وعند إضافة مجموعة فوسفات ثانية إلى الجزيء بواسطة ATP فإن المركب الناتج (ثنائي فوسفات ريبيلوز) يمكن أن يتحد مع  $CO_2$ . جزيء السكر ثلاثي الكربون الناتج ينكسر بعد ذلك ليكون جزيئين من حامض ٣-فوسفوجليسيريك (الشكل ٨-١٨). ويتلقى كل من هذين الجزيئين مجموعة فوسفات ثانية (من جزيء ATP) لتكوين جزيئين من حامض ٣,١-ثنائي فوسفوجليسيريك 1,3-diphosphoglyceric acid (DPGA) ثم يختزل كل منهما إلى ٣-فوسفوجليسرالدهيد 3-phosphoglyceraldehyde (PGAL) وتفقد مجموعة فوسفات في أثناء ذلك والعامل المختزل هو الصورة المختزلة من المرافق الأنزيمي coen-zyme NADP وهذا الأخير يشبه تماما NAD إلا أن به مجموعة فوسفات ثالثة (الشكل ٧-٤) ومثل NAD يمكن ان يختزل عن طريق إكتساب إلكترونين من الأليكترونات وسوف نرسم للصورة المختزلة بالرمز NADPH لأن بروتون واحد يصاحب عملية الاختزال (أيضا كما في حالة NAD) وعند الإشارة إلى الصورة المتأكسدة فسوف نرسم لها بالرمز NADP. إذا نظرت مرة أخرى إلى الشكل ٧-٥ في الباب السابق فسوف تكشف حقيقة غريبة



الشكل ٨-١٧. صورة اشعاع ذاتي تبين المواد المشعة الناتجة بعد ١٠ ثوان (إلى اليسار) وبعد دقيقتين (إلى اليمين) من البناء الضوئي باستعمال ثاني أكسيد كربون مشع. عند ١٠ ثوان يوجد معظم النشاط الإشعاعي في حامض ٣-فوسفوجليسيريك (p-glycric) (عند دقيقتين ثم تخليق سكرات سداسية الكربون مشع (جلوكوز وفركتوز) وكذلك بعض الأحماض الأمينية. المستطيل الصغير والدائرة (في الأركان اليمنى السفلية) تحدد مكان وضع مستخلصات الخلايا (بتصرع من ذ. جيسم. أ. باشام).



الشكل ٨-١٨.  
مسار تثبيت ثاني أكسيد  
الكربون في البناء  
الضوئي - تفاعلات  
الظلام. هذا النظام  
يسمى غالباً دورة  
كالفن تكريباً للكثافة.  
قارن الخطوات من  
٣- فوسفوجليسير-  
الدهايد بالخطوات  
المكاثفة في الانشطار  
السكري (الشكل  
٧-٥). جميع تفاعلات  
الظلام تحدث في حشوة  
البلاستيدات.

عن تفاعلات الظلام في البناء الضوئي. فمن حامض ٣- فوسفوجليسيريك وحتى PGAL تكون الخطوات تماماً عكس ما يحدث في عملية إنشطار السكر أو الجلوكوز glycolysis. ففي إنشطار السكر يتأكسد كل جزيء من PGAL إلى DPGA بواسطة NADP ويتم تخليق جزيء ATP ويتجه حامض ٣- فوسفوجليسيريك. أما في البناء الضوئي فإن كل جزيء من DPGA يختزل بواسطة NADPH ونحتاج إلى جزيء ATP وينتج PGAL. (الشكل ٨-١٨). فإذا بدأنا بست جزيئات من فوسفات الريبولوز فأنا نحصل على ١٢ جزيء من PGAL منهم عشرة تستغل لإعادة تكوين الجزيئات الست من فوسفات الريبولوز التي تبدأ العملية. أما الجزيئان الباقيان من PGAL فيدخلان في مسار إنشطار السكر لتكوين جزيء جلوكوز واحد في النهاية. وبذلك تكون ست ذرات كربون من ثاني أكسيد الكربون قد استغلت في تكوين جزيء واحد من الجلوكوز سداسي الكربون. (على الرغم من أن ذرات الكربون الست لم تدخل إلى نفس جزيء الجلوكوز). أما الفرقوز فهو مركب وسيط في هذا المسار كما كان في عملية إنشطار السكر. ويمكن إتحاد جزيء جلوكوز مع جزيء فرقوز لتكوين السكر الثنائي سكروز الذي يمكن نقله إلى أجزاء أخرى من جسم النبات. والجلوكوز الناتج من عملية البناء الضوئي يمكن إستعماله أيضاً في تخليق النشا والسيليلوز وفي النهاية كل الجزيئات الأخرى (مثل الليبيدات والبروتينات والأحماض النووية) في الخلية.

ما الذي يجعل النباتات الخضراء دون الحيوانات قادرة على تحويل ثاني أكسيد الكربون الى جلوكوز؟ عديد من خطوات تفاعلات الظلام ليست مقصورة على النباتات وحدها. وفي الواقع فإن بعض الخلايا الحيوانية يمكنها أخذ ثاني أكسيد الكربون وضمه الى جزيئات عضوية إذا توفرت لها كمية كافية من ATP وكل ما هو مطلوب لذلك هو وفرة من النشاط الأختزالي (NADPH) و ATP. ولكن الخلايا متباينة التغذية تحصل على هذا النشاط الأختزالي وعلى ATP من هدم جزيئات عضوية مثل السكريات. وفي أحسن الأحوال تبلغ كفاءة العملية حوالي ٤٠٪ فقط. ولذلك لا يمكن للخلايا متباينة التغذية أن يتراكم بها الجلوكوز بهذه الطريقة. والسر في التغذية الذاتية يكمن في تفاعلات الضوء.

#### THE LIGHT REACTIONS

#### ٧-٨. تفاعلات الضوء

كان عالم الأحياء الدقيقة الأمريكي فان نيل هو أول من الملح الى أن الضوء يلعب دورا في البناء الضوئي. وقد توصل الى نظريته من خلال دراسة البناء الضوئي في بكتريا الكبريت القرمزية. هذه البكتريا تنتج الجلوكوز من ثاني أكسيد الكربون مثلما تفعل النباتات الخضراء وهي تحتاج الى الضوء لإتمام هذا التخليق ولكن الماء لا يستعمل كمادة بادئة. تستعوض هذه البكتريا عنه بكبريتيد الهيدروجين ( $H_2S$ ) كما أن الأوكسجين لا يتصاعد أثناء البناء الضوئي ولكن الكبريت هو الذي ينتج من هذه العملية. وعلى ذلك ففي سلسلة تفاعلات الظلام تستعمل ذرات الهيدروجين لأختزال ثاني أكسيد الكربون الى مواد كربوهيدراتية



وقد رأي فان نيل في هذه التفاعلات ما يوازي عملية البناء الضوئي في النباتات الخضراء. وأستنتج أنه في النباتات الخضراء تسبب طاقة الضوء في تكسير الماء الى هيدروجين وأوكسجين ثم تستغل ذرات الهيدروجين في إختزال ثاني أكسيد الكربون من خلال سلسلة من تفاعلات الظلام



فاذا كانت هذه النظرية صحيحة فإنه يترتب على ذلك أن كل الأوكسجين الناتج من البناء الضوئي يكون مصدره الماء تماما كما أن مصدر كل الكبريت الناتج من البناء

الضوئي في البكتريا مصدره كبريتيد الهيدروجين. هذا الاستنتاج يتعارض تماما مع نظرية سينير (راجع الجزء ٨-١) التي مؤداها أن الأوكسجين المتصاعد أثناء البناء الضوئي مصدره ثاني أكسيد الكربون. اذا كانت معادلة البناء الضوئي في الجزء ٨-١ صحيحة فإن بعض الأوكسجين المتصاعد على الأقل لابد أن يأتي من ثاني أكسيد الكربون أما اذا كانت نظرية فان نيل سليمة فإنه لابد من إعادة كتابة معادلة البناء الضوئي لتصبح



حينها يواجه المرء بمثل هذه النظريات المتعارضة فإنه يحاول تصميم تجربة لاختبارها. ويمكن للمرء التنبؤ بها محتمل أن تسفر عنه التجربة إذا كانت النظرية صحيحة. في هذه الحالة كان لابد لهذه التجربة الحاسمة أن تنتظر نمو الأبحاث الذرية التي مكنت من إنتاج نظائر غير تلك الموجودة في الطبيعة أو بتركيزات أعلى من الموجود في الطبيعة. في الهواء والماء والمواد الطبيعية الأخرى التي تحتوي على الأوكسجين يكون  $^{18}\text{O}$ ، ٧٦، ٩٩٪ من ذرات الأوكسجين من  $^{18}\text{O}$ ، ٢، ٠٪ فقط من نظيره الأثقل  $^{16}\text{O}$  في عام ١٩٤١ تمكن صمويل رابين ومساعدوه من جامعة كاليفورنيا من تحضير ماء خاص فيه ٨٥، ٠٪ من الجزيئات تحتوي على  $^{18}\text{O}$  (الشكل ٨-١٩). وعند إمداد معلق طحلبي يقوم بالبناء الضوئي بهذا الماء كان جزء الأوكسجين  $^{18}\text{O}$  المتصاعد هو ٨٥، ٠٪ وهي نفس نسبته في الماء المقدم للطحلب وليست ٢، ٠٪ الموجودة في كل العينات الطبيعية من الأوكسجين (ومركبات مثل  $\text{CO}_2$ )

بيئت هذه النتائج بوضوح أن تفسير سينير كان خاطئا. فإذا كان كل الأوكسجين المتصاعد أثناء البناء الضوئي مصدره ثاني أكسيد الكربون فقد كنا نتوقع أن يحتوي الأوكسجين المتصاعد في تجربة رابين على النسبة ٢، ٠٪ فقط من  $^{18}\text{O}$  الموجودة في الطبيعة أما إذا كان كل من ثاني أكسيد الكربون والماء يسهم في كمية الأوكسجين المتصاعد فقد كنا نتوقع أن تكون نسبة النظائر الى بعضها البعض متوسطة ولكن في الواقع جاءت نسبة النظائر في الأوكسجين المتصاعد هي نفس نسبة وجودهم في الماء المستعمل (الشكل ٨-١٩).

قام رابين وزملاؤه أيضا بتحضير مصدر لثاني أكسيد الكربون الغني بذرات  $^{18}\text{O}$

وحينما قامت الطحالب بالبناء الضوئي مستخدمة هذا الغاز والماء الطبيعي لم يكن الأوكسجين المتصاعد غنيا بذرات  $O^{18}$  فقد احتوي فقط على نسبة ٢.٠٪ من هذه الذرات وهي النسبة الموجودة في الماء المستعمل . ويفترض أن الذرات الثقيلة قد دخلت في الناتجين الآخرين وهما المادة الكربوهيدراتية والماء .

دعمت هذه النتائج فكرة فان نيل التي مؤداها أن إحدى وظائف الضوء في البناء الضوئي هي فصل الأوكسجين عن الهيدروجين في جزيئات الماء ولكن بقيت المشكلة الخاصة بكيفية إتاحة ذرات الهيدروجين لتفاعلات الظلام .

لقد رأينا أن تفاعلات الظلام في البناء الضوئي تتطلب كميات وفيرة من NADP المختزلة (NADPH) و ATP. وقد أشارت دراسات فان نيل ورويين إلى أن الماء يعمل كمصدر للأليكترونات اللازمة لاختزال NADP إلى NADPH. في عام ١٩٥١ تأكدت صحة هذا الافتراض عندما تمكنت عدة مختبرات من إثبات أنه عندما تضاء بلاستيدات خضراء معزولة فإنها تختزل NADP إلى NADPH مع تصاعد كميات مكافئة من عنصر الأوكسجين .

الضوء



الشكل ٨-١٩ . نتائج رويين . في كل تجربة كانت النسبة المثوية للذرات  $O_2$  الموجودة في الأوكسجين المتصاعد أثناء البناء الضوئي هي نفس نسبتهم في الماء المستعمل . التبادل غير الحيوي للذرات الأوكسجين بين الماء وأيونات اليكربونات المستعملة كمصدر لثاني أكسيد الكربون يفسر إتخاذ النظير في ثاني أكسيد الكربون في التجربة الأولى (٣).

التجربة	الماء	النسبة المثوية للذرات $O^{18}$ في ثاني أكسيد الكربون	الأوكسجين
١	بداية	٠,٨٥	-
نهاية	٠,٨٥	٠,٦١	٠,٨٦
٢	بداية	٠,٢٠	-
نهاية	٠,٢٠	٠,٥٧	٠,٢٠

ولكن هذا التفاعل ريدوكس غير مرغوب. فالأليكترونات تنتقل من ذرات الأوكسجين ذات السالبة الكهربية العالية الى جزيئات NADP ذات السالبة الكهربية الضعيفة. وكما يتبين من الشكل ٨-٢٠ فإن الأليكترونات تنتقل من جهد ريدوكس مقدارة + ٨٢,٠ فولت الى جهد ريدوكس مقدارة - ٣٢٤,٠ فولت وبذلك تنتقل هذه الأليكترونات ضد فارق مقدارة ١٤,١ فولت. ما هو ذلك العامل المؤكسد القوي بما يكفي لتزغ الأليكترونات من ذرات الأوكسجين ضد هذا الفارق الكبير؟

الأجابة هي : الكلوروفيل نفسه. ولكي نفهم كيف يصير الكلوروفيل عامل ريدوكس قوي لابد لنا أن نناقش تأثير الضوء على الكلوروفيل.

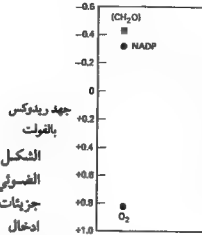
#### تأثير الضوء على الكلوروفيل THE EFFECT OF LIGHT ON CHLOROPHYLL

حينما يوضع محلول الكلوروفيل في طريق شعاع من الضوء الأبيض ينبعث منه ضوء أحمر قاني. هذه الظاهرة تسمى التألق fluorescence ويمكن إيضاحها بسهولة حيث يمكن تخضير الكلوروفيل الحام بنقع أوراق النجيل في الأيثانول ويتألق المحلول تحت شعاع أبيض.

وتفسير ظاهرة التألق هو أن طاقة الضوء المتصل تنتقل الى إليكترون في جزيء الكلوروفيل فترفعه الى مستوى أعلى من مستويات الطاقة وقد لاحظنا في بداية هذا الباب سهولة هجرة الأليكترونات بحرية حول الجزيء. وهذه هي الإليكترونات التي ترتفع بسهولة الى مستويات أعلى للطاقة عند إمتصاص الجزيء للضوء. وطالما شغل الأليكترون مستوي عالي للطاقة فان جزيء الكلوروفيل يوصف بأنه متهيج excited في محلول الكلوروفيل. تظل حالة التهيج لحظة بسيطة بعدها يعود الأليكترون الى مستوي الطاقة السابق ويتخلل عن الطاقة التي رفعتة في البداية. وتنطلق هذه الطاقة على هيئة ضوء أحمر له طول موجة بالغ التحديد.

عند إضاءة أوراق كاملة بالضوء الأبيض يلاحظ قليل من التألق أولا يلاحظ عليها أي تألق بالمرء. وأحد التفسيرات المحتملة لذلك هو أن شيئاً ما قد أزاح الأليكترون عالي الطاقة من جزيء الكلوروفيل المتهيج قبل أن يهبط ولكن إذا كان ذلك صحيحاً فإنه ينبغي أن يكون جزيء الكلوروفيل الآن موجب الشحنة. وفي الحقيقة لدينا الآن دليل قوي على أنه عند إضاءة البلاستيدات الخضراء فان جزيئات كلوروفيل معينة تتأكسد أي تكتسب شحنة موجبة.





الشكل ٨-٢٠. جهد الاختزال والأكسدة في البناء الضوئي. ضخ اليكترونات من ذرات الأوكسجين في جزيئات الماء الى NADP يتطلب ١٤ فولت وذلك يكفي ادخال ٥٢٦ كيلو سعر من الطاقة لكل زوج من الاليكترونات.

بالإضافة الى ذلك فإن التالى الذي يمكن رؤيته في النظام الكامل هو لون أحمر مميز للكلوروفيل أ. وعلى الرغم من أن المحاليل المضاءة من كلوروفيل ب وأشباه الكاروتينات لها تالقي مميز فإن أطوال موجاتها لا ترى عند إضاءة أوراق كاملة أو بلاستيدات خضرة. كما أن التالقي الذي يشاهد لا تنتج معظم جزيئات كلوروفيل أ حيث يتغير طيف الإمتصاص للكلوروفيل أ بتغير عوامل منها طبيعة البروتين الذي يكون معه مركب معقد وموقعه داخل أغشية البلاستيدة الخضراء. وعلى أي حال فقد وجدت عدة أنواع من الكلوروفيل أ في البلاستيدات الخضرة تختلف عن بعضها قليلا في طول موجة الضوء الذي تمتصه بكفاءة منها نوعان فقط يتألقان. وقد أعطيا الرميزين P700, P680 تبعا لطول الموجة (٦٨٠ نانومتر و ٧٠٠ نانومتر على الترتيب) الذي يمتصه كل منهما.

تنقل كل الأصباغ الأخرى الموجودة في البلاستيدة الخضراء طاقة التهييج بها الى P680 أو P700. ولهذا السبب فإن كلوروفيل ب وأشباه الكاروتينات والجزء الأكبر من جزيئات كلوروفيل أ توصف أحيانا بأصباغ الاستشعار antenna pigments. كل منها مهيا لامتصاص أطوال موجة محددة بكل كفاءة والطاقة المكتسبة تنتقل بعد ذلك الى P680 أو P700 وهما فقط اللذان يحدث فيهما التهييج عند سقوط الضوء على البلاستيدات الخضرة الكاملة. ونظرا لما لها من دور حاسم في تفاعلات الأكسدة والاختزال فإن P680 و P700 يسميان أصباغ التفاعل المركزية.

## PHOTOSYSTEMS I AND II

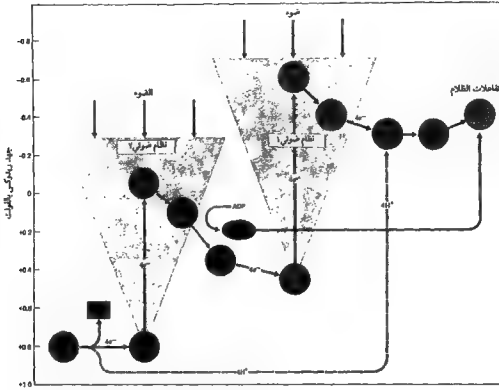
## ٨-٨ . النظم الضوئية ١ ، ٢

إكتشاف صبغتي تفاعل مركبتين هو إكتشاف جيد لأنه يساعد في تفسير خاصية أخرى من خصائص البناء الضوئي . فعندما يقارن المرء بين طيف النشاط للبناء الضوئي وطيف الإمتصاص للكلوروفيلات تظهر فوارق غريبة بينهما بوضوح . فالضوء الأحمر الذي له طول موجة أطول من حوالي ٦٨٠ نانومتر غير فعال في تنشيط البناء الضوئي مع أن كلوروفيل أ يمتص الضوء عند طول الموجة هذا . في عام ١٩٥٦ ذكر روبرت إيمرسون ومعاونوه أن النقص الحاد في كفاءة البناء الضوئي عند أطوال موجة أكبر من ٦٨٠ نانومتر يمكن التغلب عليه إذا أضيئت البلاستيدات الخضر في نفس الوقت بضوء أقصر في طول موجته . عند الأضائة بشعاعين من ضوء أحادي اللون في نفس الوقت - مثلاً ٦٧٠ نانومتر و ٧١٠ نانومتر فإن كفاءة البناء الضوئي تزيد كثيراً عما لو كانت الأضائة بشعاع واحد له طول موجة يساوي مجموع طول موجة الشعاعين معاً . قادت هذه الملاحظة إلى الإستنتاج أن تفاعلات الضوء لابد أن تشمل على عمليتين متميزتين : إحداهما تستمد الطاقة من طول الموجة الكبير وتعرف بالنظام الضوئي ١ والثانية تستمدها من طول الموجة القصير وتسمى النظام الضوئي ٢ . ولم يمكن التوصل حتى الآن الى كل التفاصيل التي يعمل بها النظامين الضوئيين ومع ذلك فالخطوات الأساسية موضحة في الشكل ٨-٢١ .

## PHOTOSYSTEM I

## النظام الضوئي ١

الطاقة التي جمعتها أصباغ الاستشعار في النظام الضوئي ١ تنتقل الى جزيء P700 ترتفع إليكترونات في P700 الى مستوي طاقة من العلو (حوالي - ٦ ، فولت) بحيث يمكنه إختزال مستقبل للأليكترونات ميبين في الشكل ٨-٢١ بالرمز  $\times$  . تعطى المادة X إليكترونها ( أي تختزل ) لبروتين يحتوي على الحديد يسمى فيردوكسين ferredoxin . يعطي الفيردوكسين إليكترونات بعد ذلك الى  $NADP^{+}$  فيختزله إلى NADPH الذي تحتاجه تفاعلات الظلام . وبهذه الطريقة يوفر الضوء الممتص في النظام الضوئي ١ الطاقة اللازمة لأكسدة P700 وإختزال  $NADP^{+}$  الى NADPH . ولكن الأليكترونات المستعملة في إختزال  $NADP^{+}$  تستعمل بعد ذلك في تفاعلات الظلام لتخليق PGAL . فإذا كان للنظام الضوئي ١ أن يستمر في العمل فلا بد له من إحلال



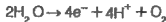
الشكل ٨-٢١. تفاعلات الضوء في البناء الضوئي. الارتفاع النسبي لكل حامل الإلكترونات يعكس جهدة في الأكسدة والاختزال (المحور Y). في الفسفرة الضوئية الحلقية تدور الإلكترونات (عكس عقارب الساعة) من x إلى PQ ثم إلى x فتولد في طريقها ATP. كل أصباغ وأنزيمات تفاعلات الضوء تحويها أغشية الحبوب. FD = فيريدوكسين.

هذه الأليكترونات وذلك باللجوء الى النظام الضوئي ٢.

## PHOTOSYSTEM II

## النظام الضوئي ٢

يؤدي امتصاص الضوء في النظام الضوئي ٢ إلى أكسدة P680 بطريقة مطابقة تماما لما يحدث في النظام الضوئي ١ ولكن P680 المؤكسد هو عامل أكسدة أقوى من P700 وبما له من جهد ريديكس مقداره أكبر من + ٠,٨٧ فولت يكون له سالبية كهربية تكفي لاكتساب اليكترونات من (و من ثم يتنزل بواسطة) جزيئات الماء. الخطوات الدقيقة ليست معروفة على وجه اليقين ولكن لكل أربعة اليكترونات يكتسبها P680 يتحرر جزيء أكسجين

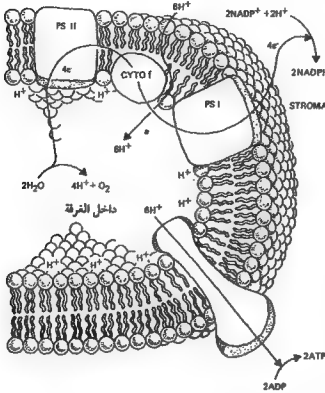


امتصاص الضوء يرفع هذه الأليكترونات الى مستوى طاقة بحيث تتمكن من اختزال  $P700$  في النظام الضوئي ١ . وعلى ذلك نكون قد وجدنا واحدا من المكونات الأساسية لتفاعلات الظلام وهو آلية توفير الطاقة التي تمكن الأليكترونات من الحركة في مسار غير متقطع من الماء الى  $NADP$ .

ولكن علينا الآن أن نجد  $ATP$  وهو المكون الأساسي الثاني لتفاعلات الظلام وهذا أيضا يتولد من تفاعلات الضوء في البناء الضوئي . في عام ١٩٥٤ بين دانييل أرون أنه عند أمداد البلاستيدات الخضراء المعزولة بمادة  $ADP$  وفوسفات غير عضوية ثم تضاء فإنها لا تلبث أن تكون  $ATP$ . وقد سمي أرون هذه العملية باسم الفسفرة الضوئية photophosphorylation لأنها عملية فسفرة يحفزها الضوء . وعلى ذلك فإن البلاستيدات الخضراء يمكنها استغلال الطاقة الضوئية مباشرة في تخليق  $ATP$ . دعنا الآن ندرس آلية ذلك .

امتصاص الضوء في النظام الضوئي ٢ يرفع الأليكترونات المطرودة من  $P680$  الى جهد ريديوكس قيمته حوالي  $-0.05$  فولت (الشكل ٨-١٢) وهذا يزيد بمقدار  $0.45$  فولت عن المطلوب لاختزال  $P700$  في النظام الضوئي ١ . وعلى ذلك فإن الأليكترونات المنقولة من مستقبل الأليكترونات في  $P680$  (يسمى  $Q$ ) الى  $P700$  تمر الى أسفل فرق جهد كبير. ومثلما يكون هناك احتياج للطاقة لرفع اليكترونات ضد فرق جهد فإن الطاقة تنطلق عندما يسمح للأليكترونات بالنزول في فرق الجهد. تنساب الأليكترونات من  $Q$  الى  $P700$  من خلال نظام لحاملات الأليكترونات يشتمل على أنزيمي سيتوكروم مشابهين لما هو موجود في الميتوكوندريا . وتستخدم الطاقة المنطلقة في هذا الأنسباب في تخليق  $ATP$ . وكما في حالة الميتوكوندريا فإن هناك دليلا قويا على أن الأوزموزية الكيميائية (راجع الجزء ٧-١٠) توفر آلية الربط بين انتقال الأليكترونات وتخليق  $ATP$ .

ولعلك تذكر أن نظرية الأوزموزية الكيميائية تقول أن طاقة إنتقال الأليكترونات تستخدم لضخ بروتونات في اتجاه واحد عبر الغشاء . في الميتوكوندريا يكون ضخ البروتونات من داخل الثنيات الى الحشوة matrix التي بين الثنيات وغشاء الميتوكوندريا . في البلاستيدات الخضراء تنتقل البروتونات في الاتجاه المضاد . عبور الأليكترونات بين

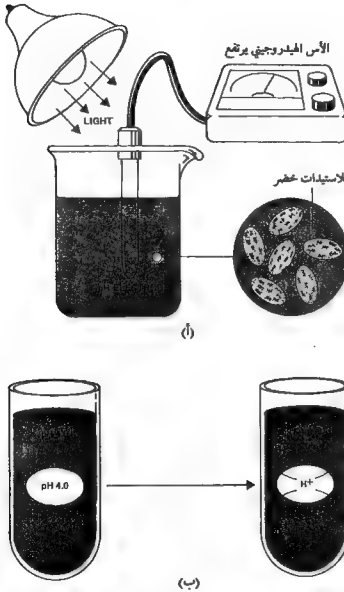


الشكل ٨-٢٢. ربط  
تخليق ATP ينقل  
الإلكترونات في الأغشية  
الثايلاكويدية حسب نظرية  
الأوزموزية الكيميائية.  
عبور الإلكترونات من  
النظام الضوئي ٢ إلى النظام  
الضوئي ١ يتسبب في نقل  
البروتونات (ضد فرق  
تركيزهم) إلى داخل الغشاء  
الطاقة المنطلقة أثناء عودة  
هذه البروتونات (الآن في  
اتجاه فرق تركيزهم) ترتبط  
بتخليق ATP يحدث هذا في  
معدن أنزيمي في الغشاء  
الثايلاكويدي وهو يختلف  
تماماً عن المعدن الأنزيمي

الحاصل ينقل الإلكترونات. في الفسفرة الضوئية غير الحلقية تستعمل الإلكترونات  
المنشطة في النظام الضوئي ١ في اختزال NADP إلى NADPH.

النظام الضوئي ٢ والنظام الضوئي ١ يضخ البروتونات من الحشوة stroma إلى داخل  
الثايلاكويدات. هذه البروتونات لا يمكنها العودة إلى الحشوة إلا عن طريق الأنزيمات  
المعدنة التي تقوم بتخليق ATP وهذه تكون منغمسة في أجزاء الصفائح المواجهة للحشوة  
(الشكل ٨-٢٢).

هناك عدة أنواع من الأدلة التي تؤيد نظرية الأوزموزية الكيميائية لتخليق ATP في  
البلاستيدات الخضراء. فعند إضاءة بلاستيدات خضراء معزولة يصبح الوسط الذي  
تكون معلقة به قلوياً (الشكل ٨-٢٣). ويفترض أن البروتونات المنزوعة من الوسط  
يتم ضخها في الثايلاكويدات لينخفض الأس الهيدروجيني إلى ٤ أو نحو ذلك. ويمكن  
جعل داخل الثايلاكويدات حامضياً عن عمد وذلك بتعليق البلاستيدات الخضراء  
المعزولة في وسط حامضي (أس هيدروجيني ٤) لفترة من الزمن. وعند تعريض هذه  
البلاستيدات بسرعة لوسط قلوي (أس هيدروجيني ٨, ٥) ثم إمدادها بإعادة ADP



وفوسفات غير عضوية فإنها تقوم بتخليق ATP تلقائياً (الشكل ٨-٢٣). لا توجد حاجة إلى الضوء. هنا إذن دليل مباشر على إمكانية تأمين فرق في البروتونات لتخليق ATP.

تبقى مشكلة واحدة. هل الفسفرة الضوئية التي تحدث عندما تمر الأليكترونات من النظام الضوئي ٢ إلى النظام الضوئي ١ كافية لتغطية إحتياجات تفاعلات الظلام؟ دعنا نحصر هذه الإحتياجات. هناك حاجة لأربعة إليكترونات لكل جزيء ثاني أكسيد

كربون يتم إختزاله . عند إعادة النظر في الشكل ٨-١٨ نعرف سبب ذلك . أخذ كل جزيء ثاني أكسيد كربون يتمخض عن إنتاج جزيئين من PGA. إختزال هذين الجزيئين يتطلب إثنين من NADPH و من هنا تنشأ الحاجة الى أربعة اليكترونات . تتطلب العملية كذلك جزيئين من ATP ولكن تذكر أن ATP مطلوب أيضا لتحويل فوسفات الريبيلوز الى ثنائي فوسفات الريبيلوز (الشكل ٨-١٨) . وعلى ذلك يكون مطلوب ٣ جزيئات ATP لكل جزيئين من NADPH في تفاعلات الظلام . وعلى الرغم من أن الأرقام مازالت غير مؤكدة فإنه يبدو أن مرور أربعة اليكترونات من Q الى P700 يوضح ٦ بروتونات الى الحشوة . عندما تعود الأليكترونات الست عن طريق إنزيمات تخليق ATP يتم تخليق جزيئين فقط من ATP. وعلى ذلك فإن الأليكترونات الأربعة المطلوبة لتوليد جزيئين من NADPH يتتجان أيضا جزيئين فقط من ATP على الرغم من الأحتياج الى ثلاثة . فإذا صحت هذه التقديرات وكان هناك جزيئان فقط من ATP يتم تخليقها عند عبور أربعة اليكترونات من النظام الضوئي ٢ الى النظام الضوئي ١ فإنه لابد أن يكون لدى البلاستيدة الخضراء حيلة أخرى للتغلب على ذلك .

### الفسفرة الضوئية الحلقية

#### CYCLIC PHOTOPHOSPHORYLATION

أحد الاحتمالات التي إكتشفها أيضا دانييل أرون سميت الفسفرة الضوئية الحلقية . في هذه العملية يقوم الضوء الممتص في النظام الضوئي ١ بتجهيز P700 وطرد اليكترونات منه لتكتسبها المادة X (الشكل ٨-٢١) . ولكن بدلا من إعطاء اليكتروناتها الى الفيريدوكسين فإن المادة X تختزل البلاستوكينون (PQ) plastoquinone . وعند رجوع هذه الأليكترونات الى P700 فإن بعض الطاقة الحرة التي تنطلق منها ترتبط بتخليق ATP تماما كما في حالة الفسفرة الضوئية . ولكن هذه العملية تتم بصورة حلقية حقيقية حيث لا توجد حاجة الى أي مصدر خارجي للأليكترونات . وكما يحدث في الخلية الضوئية الموجودة بمقياس الضوء فإن النظام الضوئي ١ يستعمل الضوء ببساطة لخلق تيار ينساب والفرق الوحيد هو أنه بدلا من إستعمال التيار لتحريك الأبرة في مقياس الضوء فإن البلاستيدة الخضراء تستعمل التيار في تخليق ATP. تقوم البلاستيدات الخضراء المعزولة بهذا على الأقل في التحضيرات في أنبوبة الاختبار .

ما تزال هناك شكوك حول ما إذا كان للفسفرة الضوئية دور هام في تخليق ATP في

الخلايا الكاملة . فإذا ما ظهر أن الأجابة بالنفي فلا بد أن تكون هناك احتمالات أخرى . فمثلا إقتراح البعض أنه إذا كانت كمية الفيريدوكسين المختزلة أكبر مما هو مطلوب لإنتاج NADPH فإن الزيادة لابد أن تستعمل لأختزال الأوكسجين المتصاعد من النظام الضوئي ٢ الى ماء . ويبدو ذلك للوهلة الأولى كضياع غير مثمر لكل العمل الشاق الذي يشتمل عليه البناء الضوئي . لكن تمهل . فعلى الرغم من أن الأليكترونات تكمل الحلقة من الماء الى الفيريدوكسين ثم بالعكس فإن جزءا من مسارها يمر بخطوة توليد ATP التي تربط النظام الضوئي ٢ بالنظام الضوئي ١ . هنا إذن طريق آخر يؤدي فيه تسليط الضوء فقط الى وصول طاقة الى الأليكترونات تكفي لتخليق ATP.

أنه لعمل سهل نسبيا أن تتهتك البلاستيدات الخضر المعزولة وتنفصل منها الثايلاكويدات المحتوية على الأصباغ عن الحشوة . وحينئذ تحتفظ الثايلاكويدات بقدرتها على الفسفرة الضوئية ولكنها لا تستطيع تحويل ثاني أكسيد الكربون الى كربوهيدرات ومع ذلك يمكن للحشوة عديمة اللون القيام بذلك عند إمدادها بثاني أكسيد الكربون و ATP و NADPH . وعلى ذلك هناك توزيع للعمل داخل البلاستيدة الخضراء : تفاعلات الضوء هي مسئولية الحبوب grana بينما تقوم الأنزيمات الموجودة في الحشوة بتفاعلات الظلام .

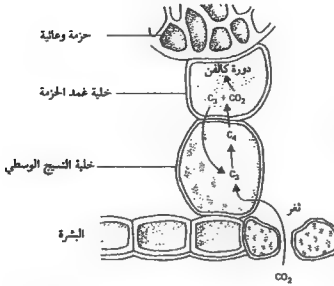
#### C<sub>4</sub> PLANTS

#### ٨-٩ . نباتات ك ٤

حينما تعامل بعض النباتات (مثل قصب السكر والذرة والذرة الرفيعة) بطرق كالفرن فإن أول النواتج تكون مركبات رباعية الكربون مثل حامض الأوكسالوخليك oxaloacetic acid وحامض المالك ماليك acid و حامض الأسبارتيك aspartic acid بدلا من PGA ثلاثي الكربون . ثم لا يلبث الكربون المشع أن يظهر في PGA وتستمر دورة كالفن . وقد ظهر أن هذه النباتات ( تسمى نباتات ك ٤ C<sub>4</sub> ) تقوم بثبت ثنائي أكسيد الكربون أولا من خلال مسار رباعي الكربون موجود في الخلايا القريبة من سطح الورقة ثم تنقل ثاني أكسيد الكربون الى الخلايا الداخلية للورقة حيث تعمل الدورة ثلاثية الكربون (الشكل ٨-٢٤) .

يعمل جهاز الأصطياد رباعي الكربون عند تركيزات من ثاني أكسيد الكربون (١-٢ جزء في المليون) تقل كثيرا عن النظام رباعي الكربون الذي يتوقف عن العمل عند





الشكل ٨-٢٤. مسار تثبيت الكربون في نباتات ك٤. يؤخذ ثاني أكسيد الكربون بواسطة المركب ثلاثي الكربون حامض فوسفو اينسول بيروفيك لتكوين حامض أوكسالوغليك وهو مركب رباعي الكربون (أنظر الشكل ٧-٧). يتحول حامض أوكسالوغليك إلى حامض ماليك وحامض اسبارتيك وينقل إلى خلايا

غمد الحزمة حيث يتكسر المركب رباعي الكربون إلى ثاني أكسيد كربون وحامض بيروفيك (ك٣). يدخل ثاني أكسيد الكربون في دورة كالفن لتكوين سكرات ونشا. ينتقل حامض البيروليك إلى خلايا النسيج المتوسط حيث يتحول إلى PEP. تقوم البلاستيدات الخضراء في خلايا النسيج المتوسط بالتفاعلات الضوئية للبناء الضوئي ولكن ينقصها الانزيم الذي يضيف ثاني أكسيد الكربون إلى ثاني فوسفات ريبولوز لبدء تفاعلات الظلام في دورة كالفن.

تركيزات أقل من ٥٠ جزء في المليون. ولذلك فإنه في يوم شديد الحرارة تستطيع نباتات ك٤ أن تغلق ثغورها لتقليل الماء المفقود بالنتح وتظل تحصل على ثاني أكسيد الكربون اللازم للبناء الضوئي وذلك لأن هذه النباتات تخلق فرقاً هائلاً في تركيز ثاني أكسيد الكربون (٣٠٠ جزء في المليون بالهواء الجوي وجزء واحد في المليون داخل الأوراق) يسمح بإنتشاره بذلك تعوض على الأقل جزئياً ما نجم عن إغلاق الثغور. ولهذا السبب تكون نباتات ك٤ مهيأة بصفة خاصة للبيئات التي ترتفع فيها حرارة النهار وتقل رطوبة التربة وتزيد شدة الضوء.

## CHAPTER SUMMARY

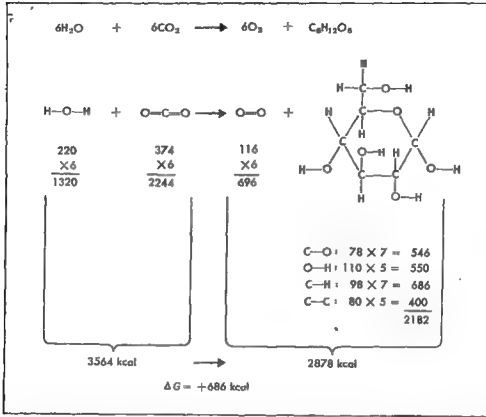
## ملخص الباب

على الرغم من أن هناك أسئلة باقية بدون إجابات إلا أنه لاشك في أن تفاعلات الضوء هي سر عملية البناء الضوئي أي القدرة على تكوين مركبات غنية بالطاقة مثل الكربوهيدرات من مركبات فقيرة في الطاقة مثل ثاني أكسيد الكربون والماء. في

التفاعلات الضوئية يتم إصطياد طاقة الضوء وتحويلها الى طاقة حرة في جزئيات عضوية. في البداية تكون هذه الجزئيات مواد كربوهيدراتية وسبب ذلك أن النشاط الأختزال الذي توفره التفاعلات الضوئية يكفي فقط لإختزال الكربون الى الدرجة التي توجد في المواد الكربوهيدراتية أي الى نصف أقصى إختزال ممكن ( $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4$  ضد  $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O}$ ) و بالطبع تقوم النباتات بتخليق مركبات أكثر إختزالا مثل البروتينات والدهون (مثل  $\text{C}_{57}\text{H}_{98}\text{O}_6$  ثلاثي لينولين). ولكن ذلك يتم بطريقة لا تختلف عما يحدث في الكائنات متباينة التغذية. فنحن نستطيع تخليق الدهون من المواد الكربوهيدراتية ولكننا لا بد أن نبذل الطاقة الحرة الموجودة في ATP. محتوى الطاقة في الدهون أكبر بكثير منه في الكربوهيدرات وفي النباتات كما في أنفسنا لا بد من تعويض الفارق بتفاعلات ظلام يدفعها ATP.

في الباب السابق درسنا التوازن الأجمالي للطاقة في التنفس الخلوي وقد قمنا بذلك عن طريق إيجاد مجموع طاقات الروابط لكل المواد الداخلة في التفاعل ثم طرحه من مجموع طاقات الروابط لكل المواد الناتجة منه (أنظر الى الشكل ٧-١٥). فهل يمكننا أن نفعل نفس الشيء بالنسبة للبناء الضوئي. نعم. لكي نكسر روابط ٦ جزئيات ماء (يمكننا الآن إغفال جزئيات الماء الستة التي تظهر على جانبي المعادلة) وستة جزئيات من ثاني أكسيد الكربون فإننا نحتاج الى إدخال ٣٥٦٤ كيلو سعر من الطاقة. تكوين الروابط الموجودة في جزئى جلوكوز (٢١٨٢) وستة جزئيات من الأوكسجين (٦٩٦) يطلق ٢٨٧٨ كيلو سعر (الشكل ٨-٢٥). الفرق هو ٦٨٦ كيلو سعر وهو يمثل الطاقة المختزنة. وعلى ذلك نعر عن التغير في الطاقة الحرة  $\Delta G = + 686$  وهو ببساطة عكس ميزانية الطاقة في التنفس الخلوي مصحوبا بالعلامة + بدلا من علامة -

وبالمثل يمكننا القيام بتحليل التغيرات في جهد الأكسدة والأختزال في البناء الضوئي. فكما حدث في الباب (٧) إذا اعتبرنا جهد الأكسدة والأختزال للكربوهيدرات هو -٢٤,٠ فولت (وهذا تقريبا معقول) وللأوكسجين هو +٨٢,٠ فولت فإن البناء الضوئي يكون قد نقل اليكترونات خلال جهد مقداره ١٠٢,٤ فولت (الشكل ٨-٢٠). من أجل تخليق جزئى جلوكوز لا بد للتفاعلات الضوئية أن تنقل ٢٤ اليكترون. فإذا أستعملنا ثابت فاراداي وقيمه ٢٣,٠٦٢ كيلو سعر لكل اليكترون فولت فأننا نصل مرة أخرى الى القيمة ٦٨٦ كيلو سعر



الشكل ٨-٢٥. علاقات طاقة الروابط في البناء الضوئي. الفرق في الطاقة الحرة اللازمة لكسر روابط المواد الداخلة في التفاعل والطاقة المنطلقة من تكوين المواد الناتجة منه هو ٦٨٦ كيلو سعر / مول وهو محصلة الطاقة الحرة للتفاعلات. مصدر هذه الطاقة هو الضوء الذي تمتصه الكلوروفيلات وأصبغ الاستشعار الأخرى.

$$\Delta G = (24)(23.062)(1.24) = 686 \text{ Kcal}$$

الفرق الوحيد هنا هو أن  $\Delta G$  تكون موجبة لأن الأليكترونات تنتقل ضد الجهد (من موجب إلى سالب) بدلا من أن تنتقل مع الجهد كما هي الحال في التنفس الخلوي. ولذلك لا بد من إضافة طاقة لإتمام العمل.

وعلى ذلك نرى أن البناء الضوئي والتنفس الخلوي هما عمليتان مكملتان لبعضهما البعض من عدة نواحي ويكون إنتقال الأليكترونات في قلب كل منهما. في البناء الضوئي تستغل طاقة الشمس لنزع إليكترونات من ذرات الأوكسجين الموجودة في جزيئات الماء وتنتقل هذه الأليكترونات إلى ذرات الكربون لتكون روابط تساهمية بين

الكربون والهيدروجين. والكربون ذو سالبية كهربية أقل بكثير من الأوكسجين وتبعاً لذلك يكون هناك إحتياج الى طاقة لإتمام هذا النقل وأغلب هذه الطاقة يُخزن في الروابط التساهمية الناشئة. وبهذه الطريقة تبنى كل الكائنات التي تقوم بالبناء الضوئي جزيئات الغذاء التي تعتمد عليها كل الكائنات.

في التنفس الخلوي تنتزع الأليكترونات من جزيئات الغذاء ويسمح لها بالعودة خطوة بخطوة الى ذرات الأوكسجين وعندما تفعل ذلك فإنها تتخل عن الطاقة التي إختزنتها والجزء الأكبر من هذه الطاقة يتحول الى الطاقة المخزنة في ATP. في التحليل النهائي إذن فإن سريان الطاقة في كل الكائنات الحية يعتمد على الإنتقال الحلقي للأليكترونات بين ذرات الأوكسجين وذرات الكربون الذي يتم بتكسير (في البناء الضوئي) وتخليق (في التنفس الخلوي) جزيئات الماء.

في هذين البابين إذن درسنا كيفية شحن وتفريغ بطاريات الحياة.

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - من أي المادتين الحام اللتين يستعملهما النبات يأتي الأوكسجين المتصاعد في عملية البناء الضوئي؟
- ٢ - كم كيلو سعر من الطاقة الضوئية تكون مطلوبة لضخ ١ مول من الأليكترونات من P700 الى المادة X ؟
- ٣ - يمكن وصف الحياة بأنها أساساً عملية نقل اليكترونات بين مستويات طاقة مختلفة. دافع عن هذا الرأي.
- ٤ - ميز بين كائن ذاتي التغذية وآخر متباين التغذية.
- ٥ - ما هو اللون الذي تمتصه الأوراق الخضراء أقل ما يمكن؟
- ٦ - هل تعتقد أن معدل البناء الضوئي يستمر في الزيادة الى ما لانهاية بزيادة درجة الحرارة ؟ إشرح.
- ٧ - هل تعتقد أن معدل البناء الضوئي يستمر في الزيادة الى ما لانهاية بزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون ؟ إشرح .
- ٨ - عندما يقوم الطلاب بأجراء التجربة المبينة في الشكل ٨-١٣ مبتدئين بأقل شدة إضاءة فأنهم غالباً يجدون أن معدل البناء الضوئي لا يستقيم بدقة فما هو العامل

الذي أهملوا تثبيته؟

٩ - الطلاب الذين أخذوا وقتاً طويلاً جداً لأداء التجربة المبينة في الشكل ٨-١٣ غالباً يجحدون أن معدل البناء الضوئي يبدأ في النزول عند شدة إضاءة عالية . هل يمكنك إيجاد تفسير لذلك ؟

١٠ - في عامودين أذكر أكبر عدد ممكن من أوجه الاختلاف بين البناء الضوئي والتنفس .

١١ - هل تحتاج النباتات الخضراء إلى إنزيمات هاضمة ؟ إشرح .

١٢ - كم عدد الأليكترونات التي تنتزع من جزيئات الماء لكل جزيء أوكسجين ينتج من البناء الضوئي ؟

١٣ - كم عدد الأليكترونات المطلوبة لكل جزيء ثاني أكسيد الكربون الداخل في البناء الضوئي ؟ وكم عدد جزيئات NADPH ؟ وكم عدد جزيئات ATP ؟

## REFERENCES

## المراجع

1. GABRIEL, M. L. and S. FOGEL, eds., Great Experiments in Biology, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1955. Contains brief firsthand report of the experiments of Van Helmont, Priestley, Ingen-Housz, Englemann, and Van Neil as well as the  $^{18}\text{O}$ -tracer experiments done at the University of California.
2. MILLER, K. R., "The Photosynthetic Membrane", Scientific American, Offprint No. 1448, October, 1979. Three types of particles in thylakoid membranes are revealed by electron microscopy.
3. LEVINE, R. P., "The Mechanism of Photosynthesis" Scientific American, Offprint No. 1163, December, 1969.
4. BJORKMAN, O., and J. BERRY, "High - Efficiency Photosynthesis", Scientific American, Offprint No. 1281, October, 1973. The anatomy and physiology of  $\text{C}_4$  plants.
5. ARNON, D. I., "The Role of Light in Photosynthesis", Scientific American, Offprint No. 75, November, 1960. The light reactions.
6. BASSHAM, J. A., "The Path of Carbon in Photosynthesis", Scientific Amer-

- 
- ican, Offprint No. 122, June, 1962. The dark reactions.
7. GOVINDJEE and RAJNI GOVINDJEE, "The Primary Events of Photosynthesis," Scientific American. Offprint No. 1310, December, 1974. The parts played by the antenna pigments and the reaction center pigments of photosystems I and II.

## CHAPTER 9

## الباب التاسع

### CELL DIVISION

### انقسام الخلية

THE GENETIC CONTINUITY OF CELLS	الاستمرار الوراثي للخلايا	١-٩
MITOSIS	الانقسام غير المباشر	٢-٩
THE NATURE OF SEXUAL REPRODUCTION	طبيعة التكاثر الجنسي	٣-٩
SEXUAL REPRODUCTION IN BACTERIA	التكاثر الجنسي في البكتريا	٤-٩
MEIOSIS	الانقسام الاختزالي	٥-٩
MEIOSIS AND VARIABILITY	الانقسام الاختزالي والتباين	
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب	
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل	
REFERENCES	المراجع	





## الباب التاسع

### انقسام الخلية

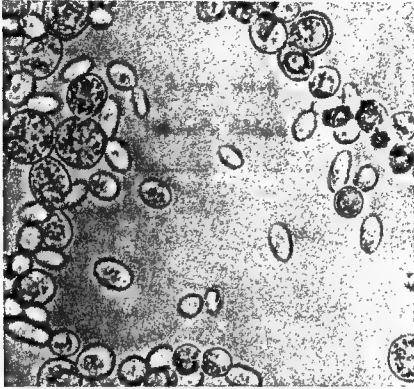
#### ٩-١. الاستمرار الوراثي للخلايا

#### THE GENETIC CONTINUITY OF CELLS

أحد المعتقدات الهامة لعلماء الأحياء في القرن التاسع عشر هو أن كل خلية على الأرض نشأت من خلية سبقتها. وهذا صحيح سواء بالنسبة للأحياء الدقيقة وحيدة الخلية مثل الخميرة أو أي خلايا نسيجية (مثل خلايا الدم) في الكائنات عديدة الخلايا. فكل خلية في أجسامنا جاءت من خلية سبقتها وفي كل مثال يمكن تتبع منشأ الخلية حتى البويضة المخصبة التي بدأت منها حياتنا. وهذه نتجت من الحيوان المنوي للأباء وخلية البويضة من الأمهات. وهذه بدورها نشأت من خلايا أخرى في أجسامنا وهكذا.

يمكن مشاهدة محور موضوع تكاثر الخلية بوضوح أكبر في الكائنات وحيدة الخلية. خلية خميرة واحدة توضع في وسط ملائم لا تلبث أن تعطي ذرية بالآلاف (الشكل ٩-١) ومع إستبعاد الحوادث الطارئة فإن كل واحدة من هذه الذرية يكون لها نفس الخصائص التركيبية والوظيفية التي كانت للخلية الأولى.

أمكن إستغلال إستمرار الصفات من أحد أجيال الخلايا الى الذي يليه في صناعة البيرة. يعتمد طعم البيرة (أو الجعة) على عدد من العوامل من أهمها سلالة الخميرة المستعملة في عملية التخمير fermentation. في الحالات العادية تضاف عدة أوطال من خلايا الخميرة الى وعاء به عدة مكونات مختلفة منها مادة كربوهيدراتية كمصدر للطاقة. وبعد أربعة أو خمسة أيام تكون كمية الخميرة قد تضاعفت ثلاث أو أربع مرات ويؤخذ



الشكل ١-٩. خلايا خميرة نامية في مزرعة. تتكاثر الخلايا لاجنسيا بتكوين براعم ولا تلتصق البراعم أن تنفصل عن الخلايا الأم وتبدأ حياة مستقلة. كل الخلايا المنحللة عن نفس الخلية تكون فيما بينها جماعة.

جزء من هذه العشرة ومحفظ بعناية كي يستعمل في بدء كمية جديدة من البيرة أو الجعة. ولابد من العناية الفائقة دائما حتى لا تختلط سلالة الخميرة بأي أحياء دقيقة أخرى. ويفضل هذه الاحتياطات يمكن إستعمال نفس السلالة من الخميرة لعدة عشرات من السنين في إنتاج نوع فريد من الجعة أو البيرة. وحتى مع معدل النمو البطيء تحت الظروف السائدة في إنتاج البيرة فإن الخلايا المستعملة هي نتاج ٣٠٠٠ جيل - ومع ذلك تبقى صفات خلايا الخميرة الأصلية بدون تغيير.

في هذا المثال تنجب خلايا الخميرة ذريتها بالتكاثر اللاجنسي asexual reproduction حيث يشتركون جميعا في تركة وراثية واحدة لأن كل منها نشأت من الأنقسام المستمر للخلايا التي وضعت في الوعاء لأول مرة. وتوصف كل خلية بأنها عضو في نفس الجماعة clone.

مشكلتنا إذن هي تفسير قدرة الخلايا على تكرار صفاتها بنفسها. في الباب (٥) رأينا كيف أوضح بورني أن الصيغة الوراثية تقبع في النواة. مالم الذي يحوى هذه الصيغة في النواة ؟ عندما تنقسم الخلية كيف تنتقل المعلومات الموجودة في هذه الصيغة الوراثية إلى خلاياها البنوية daughter cells ؟ كما سنرى في الباب (١١) فإن إجابة السؤال الأول هي الكروموسومات (أو الصبغيات) chromosomes أما إجابة السؤال الثاني فهي الانقسام غير المباشر (أو الفتيلي).

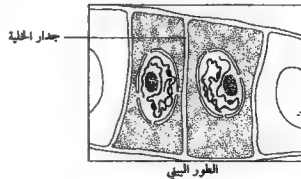
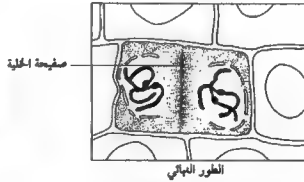
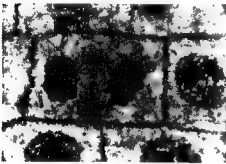
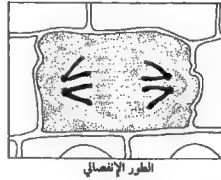
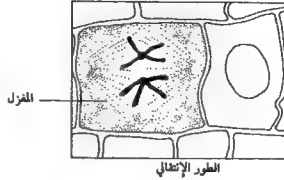
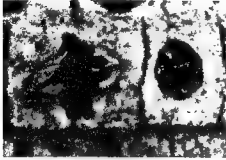
## MITOSIS

## ٢-٩. الانقسام غير المباشر

نسيج ملائم لدراسة الانقسام غير المباشر هو النسيج الانشائي عند القمة النامية لجذر البصل. ويمكن تلوين الكروموسومات بصبغة مناسبة حتى يمكن مشاهدتها (الشكل ٢-٩). الخلية التي تتكون حديثا في البصل تحتوي على ١٦ كروموسوم منها ٨ ساهم بها الأب لنبات البصل أي النبات الذي قدم الأمشاج (أو الجاميطات) المذكورة male gametes. هذه الكروموسومات غالبا تسمى الكروموسومات الأبوية parental. أما الكروموسومات الثمانية الأخرى فقد جاءت أصلا من أم نبات البصل أي النبات الذي قدم الببضة وهذه هي الكروموسومات الأمية maternal. يوجد في مقابل كل كروموسوم أبوي كروموسوم أمي يشبهه تماما. وهذه الكروموسومات المتشابهة تشكل فيما بينها أزواج متماثلة homologous pairs وكل عضو في أي زوج متماثل يسمى غالبا مثيل homologue للعضو الآخر في الزوج.

حينما لا تكون الخلية في حالة إنقسام لا يمكن مشاهدة الكروموسومات ( التي توجد في النواة ) بواسطة المجهر الضوئي . فهي رقيقة لدرجة لا تمكنها من إمتصاص قدر كبير من الصبغة لتكشف عن طبيعتها الحقيقية . وحينما تكون الكروموسومات في هذه الحالة فإنهم أحيانا يعطون تسمية جماعية هي كروماتين chromatin النواة. ومن الناحية الكيميائية يتكون الكروماتين من كميات متساوية تقريبا من الحامض DNA والبروتين مع كمية ضئيلة من الحامض RNA.

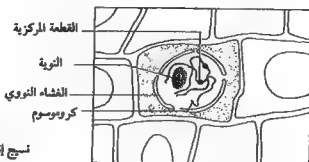
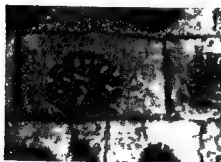
في كثير من الخلايا بما في ذلك خلايا البصل يكون لواحد أو أكثر من الكروموسومات نوية nucleolus متصلة به وهذه يمكن مشاهدتها بسهولة تحت المجهر الضوئي . والحالة الرقيقة للكروموسومات أثناء الفترة بين إنقسامات الخلية لاتعنى أنهم حاملون في هذا



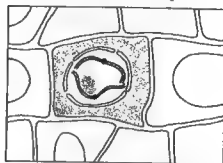
الشكل ٩-٢. الانقسام غير المباشر في نبات. الصور توضح الأطوار كما تحدث في الخلايا المنقسمة في  
 قمة جذور البصل. (بتصريح من شركة كارولينا للأمدادات الاحيائية المحدودة). الرسوم توضح الأطوار



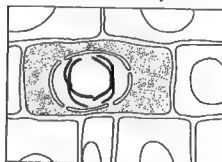
جذر البصل

جذر بصل واحد  
بين النسيج الإنشائي

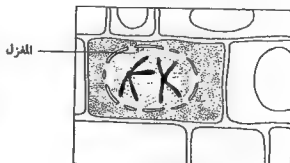
الطور البيني (قبل تضاعف الكروموسومات)



الطور البيني (بعد تضاعف الكروموسومات)



الطور التمهيدي المبكر



الطور الإنشائي المبكر

بطريقة نصف تخطيطية. من أجل الوضوح هناك زوج متماثل واحد فقط مبين في الرسم أحد أفرادة باللون الأسود والآخر ملون.

الوقت. فهم نشيطون للغاية في تخليق الحامض RNA وقيل بدء الانقسام التالي ينشطون في تخليق الحامض DNA أيضا. وفي الواقع تتضاعف بالضبط كمية الحامض DNA بين إنقسامات الخلية.

وقد قسمت الأحداث التي تقع في عملية الانقسام غير المباشر الى أربعة أطوار متتالية هي : الطور التمهيدي والطور الإنتقالي والطور الانفصالي والطور النهائي أما الفترة بين الانقسامات فتسمى الطور البيئي interphase. ومن المهم أن نعلم أن هذه الأطوار ليست إلا وسيلة مناسبة لوصف الانقسام غير المباشر أما العملية الفعلية نفسها (فيها عدا بعض الحالات الاستثنائية) فتشتمل على تتابع متصل من الأحداث تتواصل بسلسلة فيما بينها. والصور المجهرية في الشكل ٩-٢ هي صور لحظية snapshots لهذه الأطوار المختلفة ولو أن الصور المتحركة تعطى تصوراً أفضل للعملية.

#### PROPHASE

#### الطور التمهيدي

تتميز بداية الانقسام غير المباشر بعدة تغيرات فتبدأ النويات في الاختفاء بينما تبدأ الكروموسومات نفسها في الظهور. الخيوط الممتدة للكروموسومات تأخذ في الانكماش والإلتفاف في شكل حلزوني (الشكل ٩-٢) وفي أثناء ذلك تصبح أقصر وأكثر سمكا وأسهل رؤية. في هذا الوقت يبدأ الغشاء النووي في الاختفاء.

تتضح الآن أهمية تضاعف كمية الحامض DNA قبل بدء الانقسام غير المباشر ويعود إلى الظهور كل واحد من الكروموسومات الستة عشر (٨ أزواج متماثلة) التي كانت موجودة في الخلية عند بداية تكوينها ولكنه يكون مزدوجا (الشكل ٩-٢). ويكون كل إزدواج منهم على اتصال ببعضه عند نقطة خاصة تسمى القطعة المركزية cen-tromere أو kinetochore (الشكل ٩-٢).

وعلى الرغم من أن المصطلح ليس فنيا إلا أنه يمكن تسمية هذه الكروموسومات المزدوجة بالمزدوج doublet (الشكل ٩-٣) والمألوف أن يسمى كل تركيب منها كروموسوم chromosome ويسمى كل من خيطيه كروماتيدة sister chromatid. ولسوء الحظ فإن هذا المصطلح (على الرغم من شيوع إستعماله) إلا أنه يخفي حقيقة أن كل عضو في المزدوج يكافيء من كل النواحي كروموسوم من أولئك الذين تلقتهم الخلية عند



الشكل ٩-٣.  
الكروموسومات في خلية بشرية  
منقسمة من السلاندر.  
الكروموسومات المتضاعفة  
(الكروماتيدات الأختية) مازالت  
متصلة ببعضها عند القطع  
المركزية (بصريح من  
نيرتوكس).

بدء تكوينها في إنقسام غير مباشر سابق . ومن هذا المنطلق فإن خلية البصل في الطور التمهيدي لاحتوي على ١٦ كروموسوم وإنما ٣٢ كروموسوم يكونون ثنائية أزواج من المزدوجات المتأثلة .

#### METAPHASE

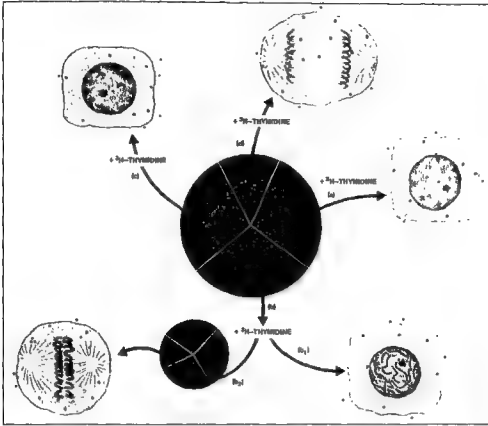
#### الطور الانتقالي (أو الاستوائي)

يتميز الطور الانتقالي بظهور المغزل spindle. هذا التركيب يتكون من تجمع من الأنابيب الدقيقة microtubules (الشكل ٥-١٦) التي تمتد بين نهايتي أوقطي الخلية . تتصل القطعة المركزية لكل مزدوج بعدد من هذه الأنابيب ثم تهاجر إلى نقطة في منتصف المسافة بين القطبين وقد تترتب الأطراف الحرة للكروموسومات عشوائيا ولكن تصطف القطع المركزية كلها تماما في مستوي واحد عند خط الاستواء "The equator". (الشكل ٩-٢).

#### ANAPHASE

#### الطور الانفصالي

يبدأ الطور الانفصالي عندما تنفصل المزدوجات الكروموسومية (الكروماتيدات



الشكل ٩-٤. دورة الخلية. توقيت وموقع تخليق الحامض DNA يمكن تحديدهما بامدادها بالثايميدين المشع ( $^3\text{H}$ -thymidine) ثم التصوير بالأشعاع الذاتي. لا يظهر الاشعاع بكميات كبيرة إلا أثناء المرحلة S ويكون محدودا في النواة (b) اذا سمح للخلية بالانقسام غير المباشر (B) يمكن التحقق من وجود الاشعاع في الكروموسومات (يتصرّح من د. أي. بات وجيل ر. بات: مقدمة في علم الوراثة الحديث - أديسون - ويزلي - ريدينج - ماساشوستس - ١٩٧٥).

الأختية) لكل كروموسوم عن بعضها ثم تتباعد (وهي ما زالت على المغزل) وتهاجر نحو الأقطاب المتعاكسة ساحة خلفها أطرافها الحرة. ويبدو الحامل الانفصالي metaphase طيعا لأن الأطراف الحرة للكروموسومات تنتجه نحو خط الاستواء كما لو كان الاحتكاك مع السيتوبلازم المحيط بها يعطل حركتها نحو الأقطاب.

#### TELOPHASE

#### الطور النهائي

الطور النهائي هو تقريبا عكس الطور التمهيدي. بمجرد أن تصل الكروموسومات



إلى القطبين تأخذ في التمدد وتعود النويات إلى الظهور ويبدأ غشاء نووى في التكوين حول الكروموسومات وفي النهاية يظهر تركيب يعرف بصفيحة الخلية cell plate عند خط الاستواء ويتم إفراز جدار الخلية على كل جانب من جانبي صفيحة الخلية وبذلك يكتمل إنقسام الخلية .

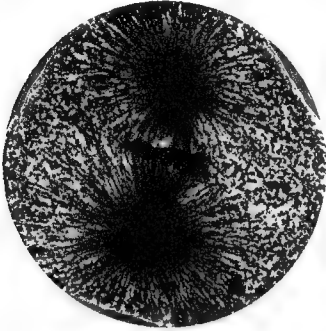
## INTERPHASE

## الطور البيني

يجد علماء الخلية من المناسب تمييز ثلاث مراحل خلال الطور البيني . تبدأ الخلية مرحلة نمو (تسمى  $G_1$ ) ويتبع ذلك فترة (S) من تخليق الحامض DNA تتضاعف أثناءها الكروموسومات ثم فترة نمو ثانية ( $G_2$ ) وهي التي تسبق الانقسام غير المباشر (M) التالي . هذه الفترات الأربع في الخلية المنقسمة هي التي تتكون منها دورة الخلية cell cycle.

توجد عملية الانقسام غير المباشر كما سبق وصفها في جميع النباتات . وتنقسم الخلايا الحيوانية كذلك بالانقسام غير المباشر وتكون الأطوار مشابهة لما يحدث في خلايا النباتات ويكون تصرف الكروموسومات متشابهاً . ومع ذلك يمكن ملاحظة إختلافين هامين أحدهما هو ظهور النجوم asters تختوي الخلايا الحيوانية على الأجسام المركزية (أنظر القسم ٥-١٧) وفي الطور التمهيدي ترحل هذه إلى جانبي النواة وهنا يمكنها المساهمة في تكوين المغزل . ويوجد حول كل جسم مركزي نظام من الألياف المرتبة في ترتيب شعاعي هي النجم (الشكل ٩-٥) . ووظيفة النجم غير معروفة . الإختلاف الثاني هو عدم تكوين صفيحة خلية في الخلايا الحيوانية التي تمارس الانقسام غير المباشر . وبدلاً من ذلك يظهر أخدود في غشاء الخلية عند خط الاستواء . ويزداد الأخدود في العمق ويتم ببساطة فصم الخليتين البنويتين . وتعتمد هذه العملية على وجود حزام من الخيوط الدقيقة (أنظر القسم ٥-١٤) التي تمتد حول الخلية ويبدو أنها توفر القوة الانقباضية . ويبدو أن صفيحة الخلية في النباتات تكون مرتبة على الجدار الصلب للخلية الذي يمنع تكوين الأخدود .

كم يستغرق الانقسام غير المباشر؟ قد يكتمل تتابع الأطوار في فترة تتراوح بين تسع دقائق وعدة ساعات . ويختلف طول الفترة كثيراً حسب نوع الخلية والنوع species ودرجة الحرارة .

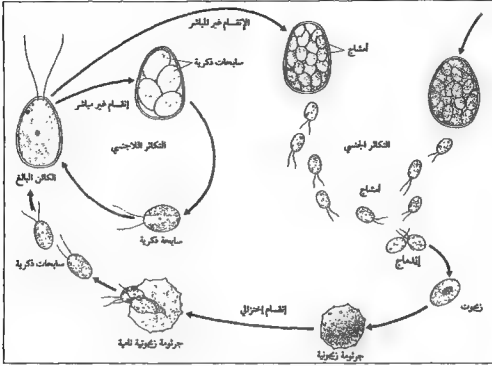


الشكل ٩-٥. الطور  
الانتقالي في خلية من  
جنين السمك الأبيض.  
لاحظ النجم الواضح  
عند كل قطب من قطبي  
الخلية.  
(بتصريح من تيرتوكس)

ما هي أهمية الأنقسام غير المباشر ؟ أهم نشاط في الأنقسام غير المباشر هو السلوك المنظم للكروموسومات . في الحقيقة هذا الجانب من العملية من الأهمية بحيث أننا نفضل نطلق عليها اسم الأنقسام غير المباشر حتى ولو لم يحدث إنقسام فعلي للخلية cytokinesis. يحدث الأنقسام النووي بدون إنقسام خلوي تحت ظروف معينة في بعض الكائنات مثل إنتاج السابحات الذكرية zoospores في الكلاميدوموناس (الشكل ٩-٦).

نحن نعرف الآن أن النواة تحتوي على المعلومات التي تنظم نشأة ونشاط الخلية . والدليل من الأنقسام غير المباشر يوضح أن للكروموسومات دور هام في هذا الصدد . وعلى ضوء ذلك يمكن اعتبار الأنقسام بمثابة أداة للتضاعف المنظم (في الطور S) وللفصل (في الطور الانفصالي) الكروموسومات وبالتالي المعلومات الوراثية . فكل خلية بنوية تتلقى مجموعة كاملة من الكروموسومات مطابقة تماماً لما كان في الخلية الأم . وعلى ذلك يكون الأنقسام غير المباشر وسيلة لنقل هذه المعلومات بدون تغيير وبدون نقص من الخلية الأم إلى الخلايا البنوية .

كيف تستعمل الكائنات الأنقسام غير المباشر ؟ كل أنواع التكاثر اللاجنسي تتم بواسطة الأنقسام غير المباشر وبالإضافة إلى ذلك فإن النمو والتجدد وإحلال الخلايا في



الشكل ٩-٦. دورة حياة الكلاميدوموناس. على الرغم من أن كل الأمشاج تبدو متشابهة فإن مشيجين من نفس الخلية الأمية لا يندججان مع بعضهما.

الكائنات عديدة الخلايا يتم عن طريق الأنقسام غير المباشر.

### ٩-٣. طبيعة التكاثر الجنسي

#### THE NATURE OF SEXUAL REPRODUCTION

في التكاثر الجنسي ينشأ الأفراد الجدد عن طريق إتحاد مجموعتين من المعلومات الوراثية (الحامض DNA). عادة تكون كل واحدة من هاتين المجموعتين موجودة داخل خلية متخصصة تسمى المشيج (أو الجاميطة) gamete وحتى يمكن جمع المعلومات الوراثية من هذين المشيجين لابد لها أن يندججا وهي عملية تعرف بالأخصاب fertilization وفي بعض الكائنات البسيطة مثل الطحلب الأخضر كلاميدوموناس لا يمكن تمييز المشيجين عن بعضهما. مثل هذه الأمشاج التي يكون لها نفس المظهر تسمى بالأمشاج المتشابهة isogametes. تنقسم نواة وستويلازم خلية كلاميدوموناس مفردة خمس أوست مرات لتكوين ١٦ أو ٣٢ من الأمشاج المتشابهة وهذه ببساطة تكون صور مصغرة من

الكائن البالغ . يفجر جدار الكائن البالغ وتحرر منه الأمشاج ذات الأسواط في الماء المحيط به ثم تندمج مع الأمشاج الناتجة من خلية كلا ميدوموناس أخرى ولا توجد إختلافات مرئية بين الأمشاج المندجة (الشكل ٩-٦) ولكن الأمشاج الناتجة من نفس الخلية الأم لا تندمج مع بعضها.

في معظم الكائنات ينتج نوعان متميزان من الأمشاج . فالحيوانات المنوية sperm هي أمشاج ضئيلة وتكاد لا تزيد عن مجرد نواة وسطى والسوط يمكنها من السباحة . الحيوانات المنوية هي الأمشاج المذكرة . البيضة egg وهي المشيج المؤنث تكون أكبر وغير متحركة وتحتوي على كميات كبيرة من المواد الغذائية بالإضافة إلى النواة . ولأن الحيوان المنوي والبيضة مختلفان كثيراً فأنهما يسميان بالأمشاج المتباينة heterogametes . الناتج من الإخصاب هو الزيجوت zygote . والزيجوت الناتج من إتحاد مشيجين عادة يسمى البيضة المخخصة fertilized egg .

من أهم سمات التكاثر الجنسي أن الأمشاج المندجة مع بعضها غالباً ما تنشأ من أفراد منفصلين . وعلى ذلك فإن فردين (هما الأبوان) يساهمان في تكوين النسل . فإذا كان هذان الأبوان مختلفين في أي ناحية من النواحي (و غالباً حتى إذا لم يكونا مختلفين كما سنرى) فإن السلالة تظهر فيها تجمعات جديدة من الصفات . وفي مرات كثيرة تكون هذه التجمعات من الصفات في غير صالح السلالة وفي مرات كثيرة لا يكون لها تأثير على من توجد به . وأحياناً ينتج عن هذه التجمعات الجديدة من الصفات فرد أكثر ملاءمة من أبويه للبيئة التي يعيش فيها . وهذا القسم الأخير هو الذي يسمح بتحسن النوع تدريجياً من الناحية التركيبية والوظيفية أي التطور evolution .

في كائنات عديدة يكون إنتاج الأمشاج المذكرة والمؤنثة من نفس الفرد . تسمى مثل هذه الأفراد خنثى hermaphroditic . دودة الأرض وبعض الأسماك وغالبية النباتات الزهرية هي أمثلة للكائنات الخنثى . وحتى في هذه الحالات عادة يسهم فردان في تكوين الزيجوت حيث يندمج الحيوان المنوي من أحد الأفراد مع بيضة من فرد آخر . وتكون النتيجة لإخصاب خلطى cross-fertilization يعمل على زيادة التباين بين أفراد السلالة . وبعض الكائنات الخنثى مثل دودة الأرض لا ينحصب الفرد ببيضاته مطلقاً . وفي البعض الآخر مثل النباتات الزهرية تلجأ إلى الإخصاب الذاتي self-fer-

tilization فقط عندما يفشل حدوث الأخصاب الخلطي . في الباب (١٦) سوف ندرس الآليات التي تشجع حدوث الأخصاب الخلطي وتجنب الأخصاب الذاتي .

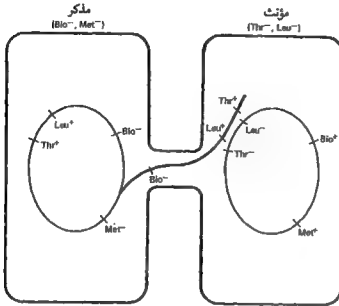
## ٩-٤ . التكاثر الجنسي في البكتريا

### SEXUAL REPRODUCTION IN BACTERIA

جوهر التكاثر الجنسي إذن هو التحديث والتغير والتباين . وقد يكون أفضل إيضاح لذلك هو العملية كما تحدث في بعض البكتريا . فقد ساد الاعتقاد لسنوات طويلة أن البكتريا تتكاثر بالانشطار fission فقط ولم يكتشف أي دليل على حدوث التكاثر الجنسي بها حتى عام ١٩٤٧ . في تلك السنة إكتشف ج . ليدربرج و . إي . ل . تاتم أن بكتريا القولون *E. coli* تستطيع أن تتكاثر جنسيا . وعلى الرغم من أنه لم يمكن ملاحظة الخلايا في حالة تزاوج فعليا إلا بعد ذلك ببعض الوقت إلا أن ليدربرج وتاتم حصلوا على دليل قاطع ( وإن كان غير مباشر ) على حدوث التكاثر الجنسي .

والسلالة التي إستعملوها من *E. coli* لم يكن لها أي أفضليات من حيث مصادر الغذاء . فعند إمدادها بالجلوكوز كمصدر للطاقة والكربون وبعض الأملاح غير العضوية كمصدر للتروجين والكبريت والفوسفور لتخليق الأحماض الأمينية والأحماض النووية فإنها تنمو بصورة جيدة . وفي داخل خلاياها الضئيلة تخنوي على كل الأنزيمات اللازمة لتحويل الجلوكوز والأملاح غير العضوية الى كل الجزيئات العضوية اللازمة للحياة .

مثل كل البكتريا فإن *E. coli* حساسة جدا للتعرض للأشعة فوق البنفسجية . والجرعة متوسطة الثقل منها تكون قاتلة . وفي الحقيقة فإن هذا هو السبب في أن لمبات الأشعة فوق البنفسجية تباع كلمبات قاتلة للجراثيم كي تستعمل في قتل البكتريا في غرف العمليات بالمستشفيات وما الى ذلك . والجرعات القليلة من الأشعة فوق البنفسجية قد لا تقتل البكتريا ولكنها قد تحطم قدرتها على تكوين واحد أو أكثر من المركبات العضوية الهامة . ولذلك لا بد من إضافة هذه المركبات الى غذاء البكتريا إذا كان لها أن تعيش . أضف الى ذلك أن هذه الحسارة التخليقية تكون وراثية . فكل الذرية الناتجة من إنشطار هذه البكتريا ذات النقص الغذائي ستعاني من نفس هذا العجز .



الشكل ٩-٧. انتقال الجينات أثناء التزاوج في بكتيريا القولون. نسخة من كروموسوم الخلية المانحة يتم حفظها في الخلية المستقبلة فيمدها بالمعلومات الوراثية اللازمة لتخليق الثريونين والليوسين. هذا الكسب يمكن الخلية الآن من النمو على وسط غذائي يحتوي فقط على الجلوكوز والأملاح.

وقد تم تطوير سلالة من *E. coli* بواسطة الأشعة فوق البنفسجية تنقصها القدرة على تخليق أحد فيتامينات B (الببوتين biotin) وأحد الأحماض الأمينية وهو الميثيونين methionine ( $\text{Bio}^-, \text{Met}^-$ ) - الشكل ٩-٧). ولا بد من إضافة هاتين المادتين إلى غذائها لكي تعيش. كما تم تطوير سلالة أخرى يمكنها تخليق الببوتين والميثيونين من الجلوكوز والأملاح ولكنها غير قادرة على تخليق الحامضين الأمينيين ثريونين threonine وليوسين leucine ( $\text{Thr}^-, \text{Leu}^-$ ).

وإذا سمح لهاتين السلالتين من البكتيريا بالاختلاط مع بعضهما بحرية ثم وضعنا في مزرعة تحتوي على الجلوكوز والأملاح فقط فان مستعمرات من الخلايا تلتبث أن تظهر وتزدهر هذه الخلايا على الرغم من غياب الفيتامينات والأحماض الأمينية التي كانت تلزم لآبائها. والأكثر من ذلك أن الخلايا المنحدرة عنها تظل تعيش على الجلوكوز والأملاح فقط.

ماذا حدث؟ بطريقة أو بأخرى تمكن أفراد كل سلالة من توحيد صيغتهم الوراثية. أفراد السلالة الأولى بما لهم من صيغة خاصة بتكوين الانزيمات اللازمة لتخليق الثريونين والليوسين (وبقية المركبات العضوية ماعدا الببوتين والميثيونين) قد وحدث هذه الصيغة مع صيغة السلالة الثانية التي تضمنت التعليلات الخاصة بتكوين الببوتين

والميثيونين. وعلى ذلك تكون بكتريا قد نشأت تشبه السلالة الأصلية من حيث قدرتها على تلبية كل إحتياجاتها باستخدام الجلوكوز والأملاح فقط. ويبين الدليل أن البكتريا من إحدى السلالات تحقق نسخة من كروموسومها الوحيد في خلية السلالة الأخرى عندما تتلامسان (الشكل ٩-٧).

لاحظ أن التكاثر الجنسي في هذا المثال قد إختزل إلى جوهره فقط. فلم تتكون أية أشعاج وانما ببساطة تتصل خلية مؤقتاً بخلية أخرى تعطيها بعضاً من صيغتها الوراثية. كذلك لم تنشأ بكتريا إضافية في هذه العملية وان كانت بكتريا جديدة قد ظهرت وهي قادرة على العيش تحت ظروف لا يستطيع أبوها أن يعيش فيها.

تبقى مشكلة. ففي التكاثر الجنسي في البكتريا تنتقل قطعة من الكروموسوم من خلية إلى أخرى. وهذا الانتقال غير متبادل ولذلك تكتسب إحدى الخليتين صيغة وراثية إجمالية أكبر ولا بد أن يتبع ذلك التخلص من قدر مكافئ وإلا فانه بعد فترة من الزمن سوف يحدث تراكم للمادة الكروموسومية في النوع. وغير معروف حتى الآن على وجه اليقين كيف تستعيد الخلية البكتيرية محتواها الكروموسومي المعتاد. نفس المشكلة تواجه كائنات أخرى تتكاثر جنسيا ولكن الحل قد تم إكتشافه.

## MEIOSIS

### ٩-٥. الانقسام الأختزالي

لكل نوع من الكائنات عدد مميز من الكروموسومات. فذبابة الفاكهة *Drosophila melanogaster* بها ٨ والبصل به ١٦ والبشر ٤٦ (شلا تفترض من ذلك أن عدد الكروموسومات في النوع مرتبط بالضرورة بدرجة التعقيد في الكائن يجب أن نلاحظ أن الجمبري به على الأقل ٢٠٠ كروموسوم في كل خلية). وجميع هذه الأعداد زوجية وهذا يعكس أن الكروموسومات توجد في أزواج متماثلة. الخلايا التي تحتوي على مجموعة كاملة من الأزواج المتماثلة توصف بأنها ثنائية العدد الكروموسومي diploid ويرمز لها بالرمز ٢ ن (2n).

يؤدي الإنقسام غير المباشر إلى تكوين خلايا لها نفس عدد الكروموسومات التي كانت موجودة في الخلية الأم وهذا يخلق المشاكل إذا كانت الخلايا الناتجة من هذا الإنقسام ستعمل كأشعاج. إذا إتحد حيوان منوي من البشر به ٤٦ كروموسوم مع

بويضة بها ٤٦ كروموسوم سوف ينتج زيجوت به ٩٢ كروموسوم وهو ضعف العدد العادي بالنسبة للنوع . ونمو الزيجوت بواسطة الانقسام غير المباشر سيؤدي الى خلايا بها هذا العدد الجديد . وتستطيع أن ترى بسهولة أنه بعد أجيال قليلة من هذا النوع سوف لا يكون هناك مكان في الخلايا لغير الكروموسومات .

في الواقع لا يحدث ذلك إلا نادراً في الكائنات الحية . عند نقطة معينة ما بين تكوين الزيجوت وتكوين الأمشاج يحدث نوع خاص من الانقسام الخلوي يسمى الانقسام الاختزالي meiosis. يتكون الانقسام الاختزالي من إنقسامين خلويين متتاليين بتضاعف واحد في الكروموسومات . وعلى ذلك فعندما تنقسم خلية إنقساماً اختزالياً فانها تنتج أربع خلايا تحتوي كل منها على نصف العدد الزوجي من الكروموسومات . هذا العدد النصفى يسمى بالعدد الأحادي haploid أو  $n$  . واختزال عدد الكروموسومات ليس عملية عشوائية حيث لا يوجد في الخلايا الناتجة من الانقسام الاختزالي إلا فرد واحد من كل زوج متماثل من الكروموسومات التي كانت موجودة في الخلية ثنائية العدد الكروموسومي . وعلى ذلك فعندما يتحد مشيجان فان الزيجوت الناتج (٢ ن) يتلقى فرد واحد من كل زوج من الأزواج المتماثلة من كل مشيج وبالتالي من كل أب .

يمكن تقسيم كل واحد من الانقسامين الاختزالين الى عدة أطوار مشابهة لتلك التي تحدث في الانقسام غير المباشر ومع ذلك فهناك إختلافات هامة في سلوك الكروموسومات تحدث في الانقسام الأول .

### الطور التمهيدي الأول

#### PROPHASE I

الطور التمهيدي للانقسام الاختزالي الأول أبطأ بكثير منه في الانقسام غير المباشر . علماء الخلية يقسمون الطور التمهيدي الأول الى خمس مراحل . أسماء هذه المراحل وميزاتها الأساسية موجودة في الجدول المبين في الشكل ٩-٨ كما يوجد منظر تخطيطي لأحداث الانقسام الاختزالي في الشكل ٩-٩ .

عندما يمكن مشاهدة الكروموسومات لأول مرة (المرحلة القلدية للطور التمهيدي الأول) يبدو كل كروموسوم كتركيب منفرد . ولكن كما يحدث في الانقسام غير المباشر يكون معظم - إن لم يكن كل - الحامض DNA الموجود بالخلية قد تضاعف في

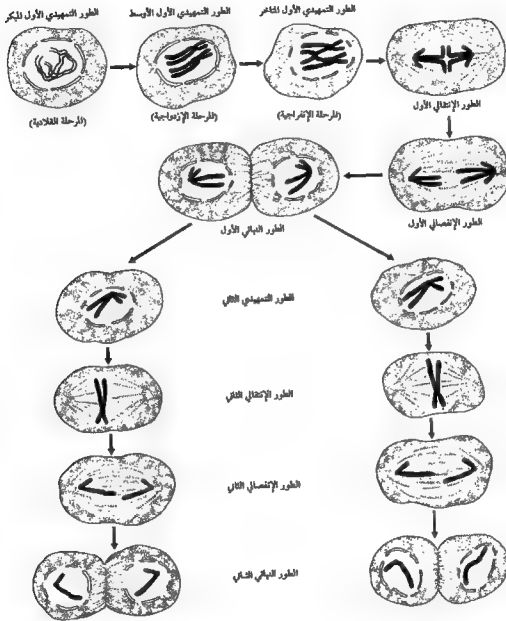


الشكل ٩-٨ . مراحل الطور التمهيدي في الإنقسام الإختزالي الأول.

المرحلة	مميزاتها
١ . القلاذية	Leptotene
٢ . الأزواجية	Zygotene
٣ . الضامة	Pachytene
٤ . الانفراجية	Diplotene
٥ . التشبية	Diakinesis

مرحلة S التي تسبق الطور التمهيدي الأول. ولذلك فأنا نستطيع أن نستنتج أن هذه التراكيب فعلا مزدوجة. وكلما تقدم الطور التمهيدي (المرحلة الأزواجية والضامة) يأخذ كل كروموسوم في الأزواج مع مثيلة وتسمى هذه العملية بالأزواج pairing أو synapsis وهي من الصفات التي ينفرد بها الأنقسام الإختزالي حيث أنها لا تحدث في الأنقسام غير المباشر. أزواج الكروموسومات المتماثلة تسمى المثنائي bivalents.

وبعد ذلك (في المرحلة الانفراجية) يبدأ كل كروموسومين متماثلين في التباعد عن بعضهما وفي هذا الوقت تتضح حقيقة أن كل منهما يتكون من زوج من الكروماتيدات الأختية. وعلى ذلك يتكون كل مثنائي من ٤ خيوط أو كروماتيدات. وتظل الخيوط الأربعة متصلة ببعضها بوسيلتين : (١) تظل الكروماتيدات الأختية لكل كروموسوم متصلة بواسطة القطعة المركزية و(٢) عند نقطة أو (عادة) عدة نقاط تكون كروماتيدات غير أختية متصلة ببعضها البعض. هذه النقاط تسمى التصلبات chiasmata وعند كل تصلب تكون الكروماتيدات غير الأختية قد تبادلت بعض القطع. عملية التبادل هذه تسمى بالعبور crossing over وهي عملية عكسية بمعنى أن الأجزاء التي تبادلتها الكروماتيدات غير الأختية تكون مثل بعضها تماما. في الشكل ٩-٩ يوجد زوج واحد فقط متماثل وعبور واحد فقط بينهما ومع ذلك غالبا يوجد عدد من التصلبات في المثنائي الواحد (الشكل ٩-١٠).



الشكل ٩-٩. الانقسام الاختزالي. تكون الكروموسومات في المرحلتين القلاية والازدواجية مضاعفة على الرغم من أنها تبدو دائماً تقريباً كخيوط مفردة في هاتين المرحلتين. ولكن يتم استنتاج أنها مضاعفة من تضاعف محتوى الخلية من الحامض DNA. لليساطة بين الرسم زوج متماثل واحد من الكروموسومات أحد فردية باللون الأسود والآخر ملون. تصالب واحد فقط مرسوم على الرغم أنه غالباً ما تتكون عدة تصالبات.



الشكل ٩-١٠. خمس  
تصالبات في مثاني في المرحلة  
الانفراجية من الجراد  
الصغير. (بتصريح من  
بروفيسور برنارد جون -  
الجامعة الوطنية الأسترالية -  
كاثرا).

وعند تكوين إنئين أو ثلاثة أو أكثر من التصالبات فإنه قد يشمل أي خيط فإذا أخذت الخيوط (الكروماتيدات الأختية) الأرقام ١ و ٢ وأخذت خيوط مثيلة الأرقام ٣ و ٤ فإن المرة قد يجد في المثاني الواحد واحد أو أكثر من التجمعات ١-٣ و ٢-٣ و ١-٤ و ٢-٤ وقد يظهر أي تجمع أكثر من مرة. الأحداث الوحيدة المستبعدة هي: (١) تكوين تصالبات بين كروماتيدات أختية (وهي غير ذات معنى على أي حال لأن تركيبها الوراثي واحد) و (٢) انقسام أكثر من كروماتيتين غير أختيتين عند أي نقطة على طول الكروموسوم (أي لا يمكن لثلاثة أو أربعة خيوط أن تتبادل أجزائها عند نفس النقطة).  
يختلف موقع وعدد التصالبات من كروموسوم إلى آخر ومن خلية إلى أخرى. (في البشر يكون متوسط عدد التصالبات لكل مثاني أكثر قليلا من ٢).

#### METAPHASE I

#### الطور الانتقالي (أو الاستوائي) الأول

يشبه الطور الانتقالي الأول في الانقسام الاختزالي الطور الانتقالي في الانقسام غير المباشر من حيث إختفاء غشاء النواة وظهور المغزل. ولكنه يختلف عنه في نقطة هامة. ففي الطور الانتقالي الأول تتصل القطع المركزية لكل زوج متماثل بالمغزل إحداها فوق والأخرى تحت خط الاستواء.

#### الطور الانفصالي الأول والطور النهائي الأول ANAPHASE I AND TELOPHASE I

مع بداية الطور الانفصالي الأول تهاجر القطع المركزية لكل مثاني كل نحو القطب المقابل لها ويؤدي ذلك إلى فصل المثاني إلى «أنصاف مثاني» (الشكل ٩-٩). لاحظ أنه

لا يحدث هنا انفصال القطع المركزية الذي وجدناه في الطور الانفصالي للانقسام غير المباشر. والذي حدث أن الكروموسومات المتماثلة هي التي انفصلت. وعلى ذلك ينتج عن الطور النهائي خليتان بكل منهما فرد واحد فقط من كل زوج متماثل كان موجودا في الخلية الأصلية (على الرغم من أن الكروموسومات المتماثلة الأصلية قد تبادلت قطعة أو أكثر من كروماتيداتهما).

## INTERKINESIS

## مرحلة ما بين الانقسامين

في بعض الكائنات لا يفصل طور نهائي أو طور بيني بين الانقسام الاختزالي الأول و الانقسام الاختزالي الثاني فتذهب الخلية مباشرة من الطور الانفصالي الأول الى الطور التمهيدي الثاني. ومع ذلك فحتى في الكائنات التي يوجد بها طور بيني يفصل بين الانقسامين لا توجد مرحلة S ولا يحدث تخليق إضافي للحامض DNA.

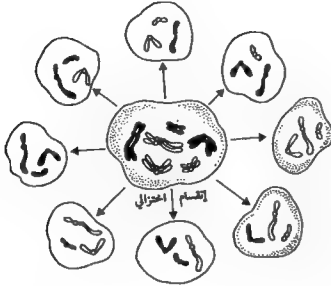
## THE SECOND DIVISION

## الانقسام الثاني

يشبه الانقسام الاختزالي الثاني الانقسام غير المباشر فيما زالت الكروموسومات موجودة على هيئة مشائي وتتصل القطع المركزية بالمغزل وتترتب عند خط الاستواء في الطور الانتقالي الثاني metaphase II. انفصال القطع المركزية للكروماتيدات الأختية في الطور الانفصالي الثاني anaphase II يفصل الكروماتيدات وتنجذب كل منها نحو أحد القطبين (الشكل ٩-٩).

وبإكمال الانقسام الاختزالي الثاني تنتج أربع خلايا تحتوي كل منها على فرد واحد فقط من كل زوج متماثل من الكروموسومات التي كانت موجودة في الخلية الأصلية. هذه الخلايا تحتوي إذن على نصف عدد الكروموسومات الموجودة في الخلية الأم (أي العدد الأحادي للكروموسومات). وفي هذه الحالة المبسطة فإن خليتين من الخلايا الأربعة الناتجة تحويان كروموسومات أبوية أو أمية لم تتغير بينما الخليتان الباقيتان تحويان كروموسومات بها أجزاء أبوية وأجزاء أمية.

العنبر ليس هو الطريقة الوحيدة التي ينتج بها الانقسام الاختزالي خلايا ذات كروموسومات متباينة. في الشكل ٩-٩ يوجد زوج متماثل واحد فقط من الكروموسومات لمجرد السهولة ( $2n = 4$ ). وفي الغالبية العظمى من الكائنات يكون



الشكل ٩-١١. التوزيع العشوائي للكروموسومات الأمية (سوداء) والأبوية (ملونة) أثناء الانقسام الاختزالي في كائن عدده النثائي من الكروموسومات هو ٦ (٢ ن = ٦).

العدد النثائي أكبر من ذلك و غالبا أكبر بكثير. ولكن لنأخذ حالة أنثى بعوضة الكيولكس *Culex pipens* وهي من أكثر الأنواع إنتشارا. في هذه المخلوقات يكون العدد النثائي ٦ وهذه الكروموسومات الست تكون ثلاثة أزواج متماثلة وعضو واحد من كل زوج جاء من البعوضة الأم (الكروموسومات الأمية m) وآخر جاء من البعوضة الأب (الكروموسومات الأبوية p). وعلى ذلك يمكننا أن نرمز للأزواج الكروموسومية الثلاثة على النحو الآتي: Am Ap, Bm Bp, Cm Cp. في الطور الانتقالي الأول من الانقسام الاختزالي ترتب الكروموسومات المتماثلة نفسها على جانبي خط الاستواء. فإذا رتب الكروموسومات Am Bm Cm نفسها على أحد جانبي خط الاستواء ورتبت الكروموسومات Ap Bp Cp نفسها على الجانب الآخر فان الأمشاح ستكون مثل الأمشاح التي تلقفتها البعوضة من أبويها (مع إهمال العبور). ولكن هناك ستة تجمعات أخرى لها نفس القدر من الاحتمال (الشكل ٩-١١). ذبابة الفاكهة *Drosophila melanogaster* بها كروموسومات أربعة أبوية وأربعة أمية وعند توزيع عضو من كل زوج متماثل على الأمشاح يكون هناك ١٦ تجمع محتمل للكروموسومات الأبوية والأمية في أزواج متماثلة. عدد الأنواع المختلفة من الأمشاح الناتجة من هذا التوزيع العشوائي random assortment للكروموسومات يساوي  $2^n$  حيث n هي العدد الأحادي للكروموسومات في الكائن. العدد الأحادي في الآباء والأمهات من البشر هو ٢٣ وكل

منها يمكنه بالتوزيع العشوائي فقط إنتاج  $2^{32}$  أي ٨٣٨٨٦٠٨ نوع مختلف من الأمشاج. وعندما نذكر أن العبور قد حدث فيما بين كل من الكروموسومات الأبوية والكروموسومات الأمية في الانقسام الاختزالي الأول لا يكون مستغرباً أن يندم وجود شخصين متشابهين تماماً على الإطلاق (الاستثناء الوحيد هو حالة التوائم المتماثلة identical twins ولكن هذا استثناء ظاهري فقط لأنهم ينتجون من بويضة واحدة مخصبة).

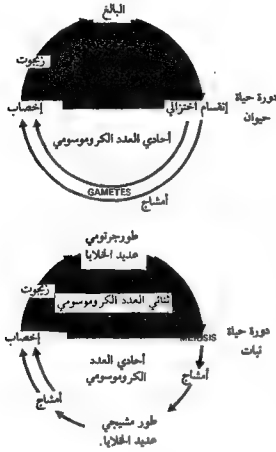
#### MEIOSIS AND VARIABILITY

#### الانقسام الاختزالي والتباين

ماهي إذن أهمية الانقسام الاختزالي؟ أولاً يختزل العدد الثنائي الى العدد الأحادي وهذا يفتح الطريق أمام اندماج مشيجين وبالتالي يوفر اليه الجمع بين صفات أبوين مختلفين. ثانياً الانقسام الاختزالي يؤدي الى التباين في الأمشاج الناتجة من كل من الأبوين. التوزيع العشوائي للكروموسومات الأبوية والأمية مضافاً اليه عبور أجزاء من الكروموسومات الأبوية والكروموسومات الأمية تجعل من المحتمل عدم وجود مشيجين متشابهين تماماً حتى من نفس الأب.

كيف تستخدم الكائنات الحية الانقسام الاختزالي؟ عرفنا ضرورة حدوث الانقسام الاختزالي بين الإخصاب وتكوين الأمشاج في الكائنات التي تتكاثر جنسياً. في الحيوانات يؤدي الانقسام الاختزالي مباشرة الى إنتاج الأمشاج (الشكل ٩-١٢). أما في الفطريات والطحالب فإن الانقسام الاختزالي قد يحدث مباشرة بعد تكوين الزيجوت. الزيجوت الذي يتكون من اندماج مشيجين في الكلاميدومناس يحيط نفسه بجدار سميك ويكمن وعندما تصبح الظروف مواتية ينقسم الزيجوت إختزالياً وينتج أربع سابحات ذكورية zoospores أحادية العدد الكروموسومي (الشكل ٩-٦). وعندما تتحرر تنمو بسرعة لتكوين خلايا كلاميدومناس كاملة الحجم. وبذلك يقضى هذا الكائن معظم دورة حياته في الحالة أحادية العدد الكروموسومي. وفي النباتات أيضاً يستعمل الانقسام الاختزالي في إنتاج الأبواغ أو الجراثيم spores ولا تنتج الأمشاج منها إلا في مرحلة لاحقة (الشكل ٩-١٢).

حدوث الانقسام الاختزالي قبل تكوين الأمشاج بوقت طويل في العديد من



الشكل ٩-١٢. دورة حياة نموذجية لحيوان وأخرى لنبات. ينتج الانقسام الاختزالي في النبات جراثيم تنمو كل منها لتعطي طور مشيجي gametophyte أحادي العدد الكروموسومي. هذا هو الطور الرئيسي في دورة حياة بعض النباتات (مثل الحزازيات) ولكنه يكون تركيب ضئيل في البعض الآخر (مثل النباتات الزهرية). وفي كل الحالات ينتج الطور المشيجي الأمشاج بالانقسام الاختزالي وهي التي تقوم بالتكاثر الجنسي تفصيل أكثر عن دورة حياة النباتات في الباب ١٦.

الكائنات يوضح نقطتين إضافيتين حول إنقسام الخلية. الأولى هي أن الانقسام غير المباشر يمكن أن يحدث في الخلايا أحادية العدد الصبغي كما يحدث في الخلايا ثنائية العدد الصبغي. الثانية هي أن العدد الأحادي من الكروموسومات يكفى للتحكم في وظائف الخلية في هذه الكائنات (ولكن ليس في كثير من الحيوانات) وأن العودة الى الحالة ثنائية العدد الكروموسومي بالانقسام توفر ببساطة مجموعة مزدوجة من المعلومات الوراثية. هذه المجموعة المزدوجة تضع الأساس لإعادة تنظيم المعلومات الوراثية في الانقسام الاختزالي التالي. مرة أخرى نرى أن التكاثر الجنسي يؤدي وظيفة أساسية : أحداث التباين في أفراد النوع.

سبق أن أشرنا في هذا الباب الى أن التكاثر اللاجنسي عادة يؤدي الى نسل هونسخة طبق الأصل من الآباء أما التكاثر الجنسي فقد وصفناه بأنه طريقة إنجاب نسل له صفات مغالفة لصفات الآباء ومن ثم يؤدي الى التباين في أفراد النوع. فإذا افترضنا أن

المعلومات التي تتحكم في ظهور صفات الكائن تكون موجودة على الكروموسومات يكون من السهل أن نرى كيف يحقق الانقسام غير المباشر الهدف الأول وكيف يحقق الانقسام الاختزالي الهدف الثاني بعد أن يتلوه الأخصاب . طوال هذا الباب كنا نتحدث عن الصيغ الوراثية الموجودة في أنوية الخلايا . واحد من أنشط مجالات البحوث في العلوم الأحيائية يختص بطبيعة وأداء هذه الصيغ الوراثية . هذه الدراسة تسمى الوراثة وهي موضوع الأبواب الخمس التالية .

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

يكون النسل الناتج من التكاثر اللاجنسي مماثل وراثيا للأب المفرد وهذا النسل يكون جماعة . التكاثر اللاجنسي يتم بواسطة الانقسام غير المباشر .

في الانقسام غير المباشر يتضاعف كل كروموسوم في الخلية (أثناء المرحلة S من دورة الخلية) وتذهب مجموعة كروموسومات كاملة الى كل من النواتين البنويتين . غالبا تنقسم الخلية الأم في نفس الوقت - عملية تسمى الانقسام الخلوي - وتتلقى كل من الخليتين البنويتين إحدى النواتين المتأثلتين الناتجتين من الانقسام غير المباشر . يحدث الانقسام غير المباشر للنواة في أربعة أطوار هي الطور التمهيدي والطور الانتقالي والطور الانفصالي والطور النهائي .

في التكاثر الجنسي يسهم أبوان في المعلومات الوراثية التي يتلقاها النسل . في الكائنات حقيقية النواة يساهم كل من الأبوين بمجموعة من الكروموسومات أثناء عملية الأخصاب . ومن أجل ألا تحتوي خلايا النسل على ضعف عدد الكروموسومات الموجودة في آباؤهم فإنه لابد من إختزال عدد الكروموسومات التي سوف تستعمل في الأخصاب الى النصف . يحدث ذلك بعملية الانقسام الاختزالي . يتكون الانقسام الاختزالي من عمليتين متتاليتين من الإنقسام النووي هما الانقسام الاختزالي الأول والانقسام الاختزالي الثاني بتضاعف واحد في عدد الكروموسومات . تحتوي الخلايا الأربعة الناتجة من الانقسام الاختزالي على نصف عدد الكروموسومات الموجودة في الخلايا الأبوية ويكون كل نوع من الكروموسومات ممثلا فيها بكروموسوم واحد . تلجأ الحيوانات الى الانقسام الإختزالي لتكوين الحيوانات المنوية وتلجأ اليه النباتات لتكوين الجراثيم أو الأبواغ .



يسهم الانقسام الاختزالي في حدوث التباين الوراثي وهو العلامة المميزة للتكاثر الجنسي بثلاث طرق: (١) باختزال عدد الكروموسومات الى النصف وذلك يسمح بحدوث الاخصاب وبالتالي تجمع جينات من أبوين و (٢) بالتوزيع العشوائي لكروموسومات متماثلة أبوية وأمّية أثناء الانقسام الاختزالي الأول و (٣) بإعادة التجميع المتبادل لقطع من الكروموسومات الأبوية والأمّية المتماثلة أثناء العبور.

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - العدد الأحادي من كروموسومات الحصان زائد العدد الأحادي من كروموسومات الحمار يمكن أن ينتجا بغلا سليما. البغل عقيم. ومع إستثناءات نادرة (أنظر السؤال التالي) لايمكنه التزاوج مع بغل آخر أو حصان أو حمار. هل يمكنك أن تشرح لماذا يحدث ذلك على أساس سلوك الكروموسومات أثناء الانقسام الاختزالي؟
- ٢ - عل الرغم من أن البغل عقيم بصفة عامة إلا أن هناك حالات قليلة لأنثى البغل ولدت حصان (بعد التزاوج مع حصان) أو بغل آخر (بعد التزاوج مع حمار). مستخدما معلوماتك عن الانقسام الاختزالي هل يمكنك تفسير هذه الأحداث النادرة؟
- ٣ - كيف يختلف سلوك الكروموسومات في الانقسام غير المباشر عنه في الانقسام الاختزالي الأول؟
- ٤ - التكاثر اللاجنسي يحفظ الأمور كما هي أما التكاثر الجنسي فيشجع على التغير صف كيف يجعل الانقسام غير المباشر الحالة الأولى ممكنة وكيف يجعل الانقسام الاختزالي متبوعا بالأخصاب الحالة الثانية ممكنة.
- ٥ - اشرح لماذا يحتوي الوسط الغذائي لنمو *E. coli* على حد أدنى من :  
 (أ) الجلوكوز أو أحد الكربوهيدرات الأخرى (ب) أول فوسفات البوتاسيوم.  
 (ج) كبريتات المغنيسيوم. (د) نترات الأمونيوم.
- ٦ - اذا قام كائن خثوي باخصاب بويضاته فهل لابد أن يكون كل أفراد النسل متشابهين؟ اشرح

٧ - كم عدد أنواع الأمشاج التي يمكن أن ينتجها البصل (٢ ن = ١٦) بالتوزيع العشوائي فقط؟

## REFERENCES

## المراجع

1. JOHN, B., and K. R. LEWIS, Somatic Cell Division. Oxford Biology Readers, No. 26, Oxford University Press, Oxford, 1972. Mostly about mitosis.
2. MAZIA, D., "The Cell Cycle, "Scientific American, Offprint No. 1288, January, 1974.
3. PATT, D. I., and GAIL R. PATT, An Introduction to Modern Genetics, Addison - Wesley, Reading, Mass., 1975. Chapter 10 discusses bacterial conjugation and other mechanisms of sexual reproduction in bacteria.
4. JOHN, B., and K. R. LEWIS, The Meiotic Mechanism Oxford Biology Readers, No.65, Oxford University Press, Oxford, 1973.

## PART IV

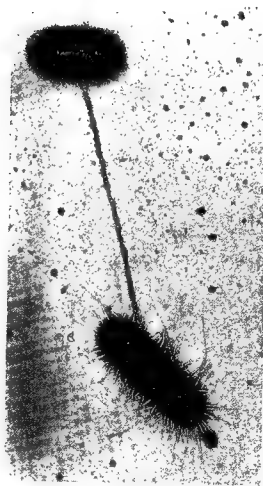
## القسم الرابع

### GENETICS

### الوراثة

النزاج في بكتريا  
القولون: *E.coli*

يتم إنتقال الجينات من  
الخلية المانحة (أسفل)  
إلى الخلية المستقبلة بعد  
أن نكون قد إتصلنا بقناة  
تنسيب الخيط الرفيع.  
(صورة بالمجهر  
الإلكتروني أعدها  
جوديث كارناهان وتشارلز  
برنتسون ومأخوذة عن  
ر. واي. ستاير  
وم. دودوروف و إي.  
أ. أدلبرج: عالم  
الميكروبات الطبية  
الثالثة - ١٩٧٠.  
بتصريح من برنتس هول  
- إنجلوود كليفس -  
نيو جيرسي).





## الباب العاشر

### الوراثة : عمل مندل

حينما تتكاثر الكائنات الحية لاجنسيا فإن النسل ينشأ في صورة نسخ طبق الأصل من الأبوين طالما أنه يعيش تحت نفس الظروف . وفي المقابل عندما تتكاثر الكائنات الحية جنسيا فإن صفات أفراد النسل تكون مختلفة فيما بينها كما تختلف عن صفات كل من الأبوين . عندما يتزاوج كلبان من الكولي collie والراعي الألماني German shepherd فإن النسل يكون من الكلاب وليس من أي نوع آخر من الحيوانات ومع ذلك فإن هذا النسل لا يشبه الكولي ولا يشبه الراعي الألماني تماما . وقبل أن يكتشف علماء الأحياء كثيراً من الحقائق حول الانقسام غير المباشر والانقسام الاختزالي حاولوا اكتشاف قواعد، قد تفسر كيف تكون الصفات الموروثة للنسل مرتبطة بصفات الآباء وآباء الآباء .

من بين النظريات العديدة التي وضعت لتفسير توارث الصفات هناك نظريتان تستحقان التنويه . إحداهما (وهي نظرية مندل Mendel) كانت بمثابة الأساس الذي بنيت عليه كل الدراسات اللاحقة في علم الوراثة . أمّا النظرية الأخرى (وهي نظرية توارث الصفات المكتسبة) فقد فشلت عند اختبارها علمياً ومع ذلك ظل لها مؤيدوها والمدافعون عنها .

١٠-١ . نظرية توارث  
THE THEORY OF THE  
INHERITANCE OF ACQUIRED CHARACTERS      الصفات المكتسبة

تقول هذه النظرية ببساطة أن الصفات التي يكتسبها الآباء في حياتهم تنتقل إلى نسلهم . عادة ترتبط هذه النظرية باسم لامارك Lamarck وهو عالم أحياء فرنسي



## CHAPTER 10

## الباب العاشر

### الوراثة : عمل مندل

### GENETICS : THE WORK OF MENDEL

THE THEORY OF THE	نظرية توارث الصفات المكتسبة	١-١٠
INHERITANCE OF ACQUIRED CHARACTERS		
MENDEL'S THEORY: THE BACKGROUND	نظرية مندل : الخلفية	٢-١٠
MENDEL'S EXPERIMENTS	تجارب مندل	٣-١٠
MENDEL'S HYPOTHESIS	إفترض مندل	٤-١٠
HOW HYPOTHESES ARE JUDGED	كيفية الحكم على الافتراضات	٥-١٠
THE TESTCROSS : A TEST	التلقيح الاختباري : اختبار	٦-١٠
OF MENDEL'S HYPOTHESIS	لإفترض مندل	
DIHYBRIDS - THE LAW OF	المجن الثنائية - قانون	٧-١٠
INDEPENDENT ASSORTMENT	التوزيع المستقل	
MENDEL'S THEORY : THE SEQUEL	ما بعد نظرية مندل	٨-١٠
CONTINUOUS VARIATION :	التباين المستمر :	٩-١٠
MULTIPLE-FACTOR HYPOTHESIS	إفترض تعدد العوامل	
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب	
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل	
REFERENCES	المراجع	

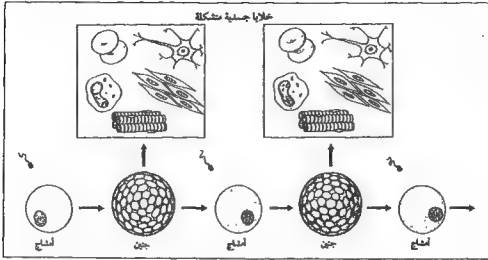
إستعمل هذه النظرية في محاولة تفسير مظاهر التأقلم العديدة في النباتات والحيوانات مع البيئة . وكان أشهر مثال لتوضيح ذلك هو الزرافة حيث إدعى أن الرقبة الطويلة قد تطورت نتيجة مد الرقاب في عدة أجيال للتغذية على أوراق الأشجار . وقد نقل كل جيل الزيادة القليلة التي حدثت في طول الرقبة الى نسله .

هل هناك أي دليل على أن هذه الظاهرة تحدث؟ على الرغم من عدة محاولات لإثبات أن التغيرات الجسمية التي يكتسبها أحد الأفراد تنتقل إلى نسله فلم يتم إكتشاف أي دليل على ذلك . التجارب الأولى التي حاولت حسم المسألة كانت هي تلك التي يستأصل فيها جزء من الجسم جراحياً مثل ذيل الفأر . وحتى بعد عدة أجيال من إستئصال الذيل فإن الفئران الصغيرة كانت تولد بذيل له نفس الطول . وفي الواقع لم يكن على القائمين بهذه التجارب إلا أن ينظروا حولهم بحثاً عن تأكيد لنتائجهم فإن مربى الأغنام قد دأبوا على إستئصال ذيلها لأجيال يصعب حصرها ولكن العملية لا بد أن تتكرر مع كل جيل جديد . وحتى عندما إستعملت وسائل أكثر تقدماً لتغيير الوراثة بتغيير البيئة فإنها لم تفلح .

لماذا؟ من أجل أن تنتقل التغيرات التي تحدث في الجسم إلى النسل فإنه لا بد لها من أن تتخطى في الحيوانات المنوية والبويضات وهما الرابطتان الوحيدتان بين أجسام الآباء وأجسام الأبناء . ربما يحدث هذا الشيء إذا نتجت الأمشاج من بعض الخلايا المتخصصة في الجسم والتي يكون قد طرأ عليها بعض التغير ولكن هذه الخلايا لا تنتج أمشاجاً . وقد عرف لسنوات طويلة أن خلايا الجسم المنتجة للأمشاج في الحيوانات تبعد جانباً منذ المراحل الجنينية المبكرة جداً . في الواقع فإن طفلة حديثة الولادة تكون بعض خلاياها قد وضعت جانباً وبدأت الانقسام الاختزالي لكل خلية سوف تصبح يوماً ما بويضة ناضجة .

وقد عبر عالم الأحياء الألماني وايزمان عن هذه الأفكار في شكل نظرية إستمرار الجرم بلازم continuity of germplasm . طبقاً لهذه النظرية فإن الكائنات عديدة الخلايا تتكون من خلايا منتجة للأمشاج هي الجرم بلازم germplasm وخلايا بقية الجسم أو السوما بلازم somaplastm . وقد إعتبر وايزمان أن خلايا الجرم بلازم لا تموت لأنها سلسلة لا تنكسر من الأمشاج والأجنة تعود الى فجر الحياة (الشكل ١٠-١) . وعند كل جيل فإن الجنين الذي ينمو من الزيجوت لا يدخر بعض الجرم بلازم لإنجاب الجيل التالي





الشكل ١٠-١. اقتراس وازيمان بينما هو صحيح بالنسبة لغالبية الحيوانات فانه لا ينطبق على النباتات. فالنباتات تستطيع انتاج خلايا متبجة للأمشاج من خلايا جسمية متشكلة.

فحسب وإنما ينتج أيضاً الخلايا التي سيتكون منها الجسم أي السومابلازم الخاص بالكائن نفسه. من هذه الناحية فإن السومابلازم يكون مجرد منزل لسكنى الجرمبلازم يضمن له الحماية والتغذية والوصول الى جرمبلازم الجنس الآخر كي يبدأ الجيل التالي. ولا تشكل الحجج القديمة من جاء أولاً البيضة أم الدجاجة أي مشكلة لوايزمان ففي رأيه أن الدجاجة ليست إلا وسيلة البيضة لوضع بيضة جديدة.

ظهر صدق نظرية وإيزمان بجلاء على الأمريكيان و. إي. كاسل وجون سي. فيليبس في عام ١٩٠٩. فقد استأصلا المبايض من فأر تجارب أشقر albino guinea pig ووضعوا في مكانها مبايض من فأر تجارب أسود. ثم تزواج الفأر الأشقر مع ذكر أشقر وبدلاً من أن يأتي النسل أشقر كما هو متوقع كانت الفئران الصغيرة سوداء (التزاوج بين فأر أشقر وآخر أسود ينتج دائماً نسلًا أسود). الصيغ الوراثية في البويضات لم تتغير حتى مع إكمال نضجها في جسم حيوان مختلف.

١٠-٢. نظرية مندل : الخلفية

MENDEL'S THEORY : THE BACKGROUND

نظريتنا الحالية عن الوراثة صاغها الراهب النمساوي جريجور مندل (الشكل



تخزين الغذاء - أنظر الشكل ١٦-٩) أما البعض الآخر فكان ينتج بذور صفراء، البعض ينتج قروناً خضراء والبعض ينتج قروناً صفراء، البعض ينتج أزهاراً بيضاء والبعض ينتج أزهاراً حمراء. هذه الصفات الثنائية (وثلاث صفات أخرى) إختارها مندل للدراسة لأنه كان يسهل تمييزها ولأنها كانت حقيقية التوارث جيلاً بعد جيل أي أنه طالما حافظ على التلقيح الذاتي فإن هذه الأصناف ظلت تنتج نسلًا مماثلاً للآباء في الصفات المدروسة.

كانت هناك صفات أخرى تختلف في أصناف بسلة الزهور مثل حجم الأوراق وحجم الأزهار. وقد تجنب مندل هذه الصفات بحكمة لأنها ببساطة لم تكن ضمن التصنيف المحدد «إما هذا وإما ذاك». فنباتات مندل من بسلة الزهور كانت لها إما بذور مستديرة وإما بذور مجعدة وليست بينها حالات وسط. وفي المقابل فإن حجم الأوراق وحجم الأزهار كان الاختلاف فيه يغطي مدى واسع ولم يكن هناك مجرد فئتين يمكن وضعهما فيها. لذلك كان قرار مندل بقصر مجال تجاربه هكذا عاملاً مهماً في نجاحه.

#### ٣-١٠ تجارب مندل MENDEL'S EXPERIMENTS

في إحدى تجاربه الأولى قام مندل بتلقيح خلطي بين صنف له بذور مستديرة round وآخر بذوره مجعدة wrinkled هذا الجيل الأبوي يسمى الجيل P (parental) حيث تم تعفير المتاع في الصنف ذي البذور المجعدة بحبوب لقاح من أسدية الصنف ذي البذور المستديرة. والتلقيح العكسي تم أيضاً حيث وضعت حبوب لقاح من أسدية الصنف ذي البذور المجعدة على مبايض الصنف ذي البذور المستديرة. في كلتا الحالتين كانت كل البذور الناتجة من الأزهار الملقحة خلطياً مستديرة. لم يكن هناك بذور لها شكل وسط (شكل البذور ولون الأزهار كانت صفات مجزئة بصفة خاصة في الدراسة فكان يمكن تحديد الشكل في نفس الموسم الذي تم فيه الاختصاب والبذور كانت هي الجيل التالي. شكل القرن وطول الساق ولون الزهرة في الجيل الثاني لم تتحدد إلا في الموسم التالي بعد أن تكون البذور قد أنبتت وتحولت إلى نباتات بالغة). سمى مندل الجيل الثاني بالجيل الهجين لأنه نتج عن أبوين غير متشابهين. وكذلك يسمى الجيل البنوي الأول أو جيل F1.

إستنبت مندل كل البذور المستديرة من الجيل F1 ونمت لتعطي ٢٥٣ نبات بالغ

من الجيل F1 وقد سمح لأزهار الجيل F1 بالإخصاب الذاتي بالطريقة المألوفة . أي أن مندل في الواقع كان يجهن الجيل F1 (أو الجيل المجهن) مع نفسه . من قرون هذه النباتات حصل مندل على ٧٣٢٤ بذرة هي بذور الجيل F2 كان من بينها ٥٤٧٤ بذرة مستديرة و ١٨٥٠ بذرة مجعدة أي بنسبة ٢,٩٦ بذرة مستديرة لكل بذرة مجعدة .

استنتج مندل بعضاً من هذين النوعين من بذور الجيل F2 . من البذور المجعدة حصل على نباتات تنتج (بالإخصاب الذاتي) محصولاً من نباتات الجيل F3 وكانت بلا إستثناء من النوع المجعد . من البذور المستديرة حصل على ٥٦٥ نبات وسمح لهم بإنتاج محصول الجيل F3 بالإخصاب الذاتي . في هذه الحالة كان نتاج ١٩٣ من النباتات فقط بذوراً مستديرة . أما النباتات الباقية وعددها ٣٧٢ فقد أنتجت بذوراً مجعدة بنسبة ٣ : ١٠ (الشكل ١٠-٣) .

ما هي أهمية هذه الحقائق؟ من الواضح أنه عند تهجين بسلة مستديرة البذور مع بسلة مجعدة البذور فإن الأولى تنقل إلى النسل في الجيل الأول F1 عاملاً مسيطراً . كما أنه لا يهيم إن كان العامل الخاص بإستدارة البذور يأتي من الأمشاج المذكورة أو من الأمشاج المؤنثة فالنتيجة واحدة في كلتا الحالتين .

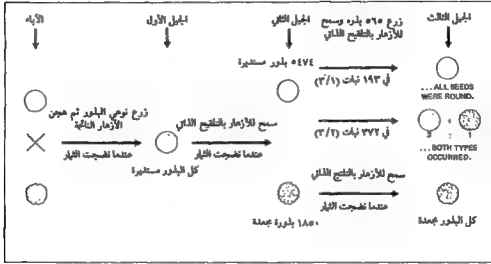
عودة البذرة المجعدة إلى الظهور في الجيل F2 لا تعني إلا أن بعض النباتات على الأقل من الجيل الأول F1 كانت تحمل العامل الخاص بتجعد البذور ولو أن وجوده كان مستتراً في أفراد الجيل الأول . الصفات التي تنتقل بدون تغير إلى الجيل الأول (مثل إستدارة البذور) تسمى سائدة dominant بينما التي تختفي في الجيل الأول ثم تعاود الظهور في الجيل الثاني F2 (مثل تجعد البذور) تسمى متنحية recessive .

#### MENDEL'S HYPOTHESIS

#### ١٠-٤ . إفتراض مندل

في محاولة لتفسير هذه الحقائق وضع مندل إفتراضات . هذه الإفتراضات لم تكن ملاحظات ولم تكن حقائق وإنما هي عبارات إن صحت لكان فيها تفسير للنتائج المشاهدة . هذه الإفتراضات هي :

- ١ - في كل كائن يوجد عاملان يتحكمان في ظهور صفة ما (نحن نسمى هذه العوامل الآن بالجينات أو المورثات genes).

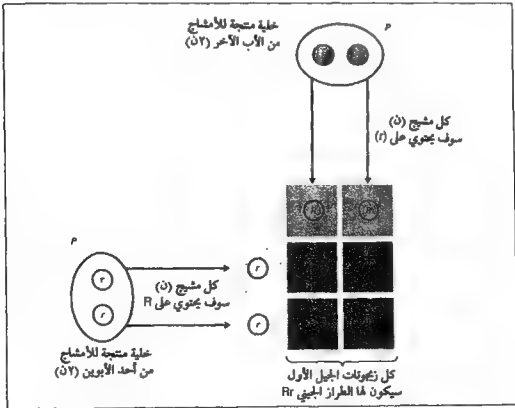


الشكل ١٠-٣. نتائج مندل.

- ٢ - يحصل الكائن على هذين العاملين من أبوية . عامل من كل أب .
- ٣ - ينتقل كل واحد من هذه العوامل كوحدة متكاملة لا تتغير . (البذور المجعدة في الجيل الثاني F2 لا تقل تجمعاً عن بذور جيل الآباء على الرغم من مرور العوامل المتحركة في هذه الصفة خلال الجيل الأول F1 مستدير البذور) .
- ٤ - عند تكوين الخلايا التكاثرية (الحيوان المنوي أو البويضة) تنفصل العوامل وتتوزع كوحداث على الأمشاج . هذه العبارة غالباً ما تسمى القانون الأول لمندل The law of segregation أو قانون الانعزال Mendel's first law .
- ٥ - إذا كان الكائن يحتوي على عاملين غير متشابهين لصفة ما يتم التعبير عن أحدهما مع الاسبعاد التام للآخر . ونحن الآن نستعمل لفظ الصفة المضادة لوصف إحدى صورتَي الجين الذي يتحكم في صفة ما . وعلى ذلك يكون هناك صفتان متضادتان (استدارة البذور وتجمع البذور) من الجين الذي يتحكم في شكل البذور .

إلى أي حد يحسن هذا الافتراض تفسير الحقائق المشاهدة؟ تبعاً لخطة مندل فإن نباتات جيل الآباء P مستديرة البذور كان بها ٢ من الجينات المتماثلة ويمكن أن نرمز لها بالحرفين RR أما النباتات مجعدة البذور فقد إحتوت على ٢ من جينات تجمع البذور rr واليوم نصف كل واحد من نباتات جيل الآباء P بأنه متشابه اللاحقة homozyg-

ous بالنسبة لهذه الصفة. أثناء تكوين الأمشاج تنفصل الجينات وحيث أن الجينات متشابهة في كل نبات فإن أمشاج النبات الواحد تكون متشابهة. فتواة أي حيوان منوي أو بويضة من النبات مستدير البذور سوف تحمل الجين R وبالمثل فإن أي مشيج من النبات مجعد البذور سوف يحمل الجين r. النوع الوحيد المحتمل للزيجوتات الناتجة من تهجين هذين الصنفين سيكون Rr وعلى ذلك فإن كل خلايا النبات من الجيل الأول F1 ستحتوي على واحد من كل نوع من هذين الجينين المتضادين. واليوم نقول أن النبات من الجيل الأول F1 هو متباين اللاحقة heterozygous. جميع بذور الجيل الأول ستكون مستديرة حسب إفتراض مندل لأنه في حالة تباين اللاحقة يتم التعبير عن الجين R مع الحجب الكامل للجين r بعبارة أخرى فإن R سائد على r. ويمكن التعبير عن هذا التهجين بما يسمى مربع بونيت Punnett's square (الشكل ١٠-٤).



الشكل ١٠-٤. كيفية تفسير افتراض مندل لنتائج التهجين بين نبات بسلة نقي بذوره مجعدة مع نبات بسلة نقي بذوره مستديرة.



الثيرة التي حصل عليها مندل عندما إستتبت الجيل الثالث. فقد كانت جميع البذور المجمدة حقيقية التوارث true bred وثلاث البذور المستديرة (١٩٣) كانت أيضا حقيقية التوارث مما يشير إلى أنها كانت متشابهة اللاحقة سائدة RR أمّا الباقي (٣٧٢) من البذور المستديرة فقد أنتجت بذوراً مستديرة وبذوراً مجمدة بنسبة ٣ : ١ تماماً كما في حالة الجيل الثاني. وبالتالي فلإنها لا بد أن تكون متباينة اللاحقة.

من المهم أن ندرك أن هذه النسب تقريبية فقط فعدد حبوب اللقاح الناتجة أكثر بكثير مما يستعمل في الإخصاب وكذلك قد لا يتم إخصاب الكثير من البويضات أبداً. وعلى ذلك فإن المرء لا يتوقع أن تنتج أربع عمليات إخصاب من الجيل الأول دائماً  $1RR : 2Rr : 1rr$ . ولكن كلما زاد حجم العينة كلما تضاءلت فرص الابتعاد عن النسب المتوقعة نظرياً. الشكل ١٠-٦ يبين الأعداد الفعلية للبذور المستديرة والمجمدة التي أنتجتها عشرة من بين ٢٥٣ نبات من الجيل الأول في تجارب مندل.

الشكل ١٠-٦. الانتاج الفعلي للبذور بواسطة كل من عشرة من نباتات الجيل الأول في تجارب مندل. لاحظ أن النباتات المفردة تنحرف بعيداً عن النسبة المتوقعة ٣ : ١ ولكن المجموعة ككل تقرب كثيراً من النسبة.

مستديرة	مجمدة	
١	٤٥	١٢
٢	٢٧	٨
٣	٢٤	٧
٤	١٩	١٦
٥	٣٢	١١
٦	٢٦	٦
٧	٨٨	٢٤
٨	٢٢	١٠
٩	٢٨	٦
١٠	٢٥	٧
المجموع	٣٦٦	١٠٧



في حالات عديدة تكون النسبة بعيدة عن النسبة المتوقعة ٣ : ١ ولكن عند جمع عدد بذور جميع النباتات فإن النسبة (١٤ : ٣ ، ٣ : ٣) تكون قريبة جداً من المتوقع .

### ١٠-٥ . كيفية الحكم على الإفتراضات

#### HOW HYPOTHESIS ARE JUDGED

إفتراضات مندل تعطي تفسيراً معقولاً لنتائج تجاربه في التهجين . وعلى الرغم من أنها ليست الأسلوب الوحيد الذي يمكن به تفسير هذه النتائج إلا أنها أبسط أسلوب فكر فيه الإنسان حتى الآن . وليس بوسعنا أن نسأل إن كانت إفتراضات مندل صحيحة ، وكل ما يمكن أن نقوله أنها تعطي تفسيراً كافياً لكل الحقائق المشاهدة ، وأنها أبسط تفسير لها . الألفاظ «معقولة» و «كافي» و «أبسط» لايسهل قياسها . والإفتراضات خاصة في المراحل الأولى لظهورها تقيّم غالباً بمثل هذه الألفاظ . وفي النظرة العامة فإن العلماء يحيون حياة موضوعية تامة وعندما يتناولون الحقائق فإن ذلك يكون صحيحاً بصفة عامة ولكن عند تناولهم للإفتراضات فإنهم عادة ما ينساقون وراء اعتبارات غير موضوعية بل وعاطفية أيضاً . وقد سار فكر مندل في هذه الحالة من أعداد الأنواع المختلفة من البذور الى التعميمات التي تفسر الحقائق أي التي تجعل العقل يتقبلها . ونحن نسمي هذا النوع من الفكر بالفكر البناء inductive . لانه توجد قواعد منطقية بسيطة يمكن أن تقود في هذا الإتجاه لأن المرء يحتاج إلى الفطرة وعمق النظر . والقدرة على هذا التفكير البناء تحتاج الى فن أكثر مما تحتاج الى علم ولكن العلم لا يستمر بدونها .

هناك شرط آخر لا بد أن يتوفر لأي إفتراض جيد . فينبغي له أن يهيء الفرصة للتنبؤ بحقائق جديدة . هذا التنبؤ بحقائق جديدة يشتمل على ما نسميه بالفكر الاستنباطي deductive فإذا صحت التعميمات فإنه يمكن إستنباط توابع محددة لها .

### ١٠-٦ . التلقيح الاختباري : إختبار لإفتراض مندل

#### THE TESTCROSS : A TEST OF MENDEL'S HYPOTHESIS

شعر مندل تماماً بأهمية هذه الخطوة . ولكي يختبر إفتراضه حاول التنبؤ بنتيجة تجربة تهجين لم يتم بإجرائها من قبل . فقد هجن نباتات بسلة الزهور متباينة اللاحقة وذات

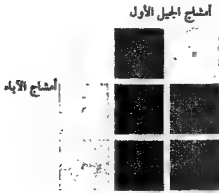
البذور المستديرة (Rr) مع نباتات متشابهة اللاحقة بذورها معجدة (rr). وقد فكر في أن الأب متشابه اللاحقة المتنحي لا يستطيع إنتاج إلا أمشاج بها r أما الأب متباين اللاحقة فينبغي أن ينتج أعداداً متساوية من أمشاج R وأمشاج r وقد تنبأ مندل بأن نصف البذور الناجمة من هذا التهجين تكون مستديرة (Rr) ونصفها الآخر تكون معجدة (rr) (الشكل ١٠-٧). هذا النوع من التزاوج الذي يكون فيه أحد الأبوين معلوماً ومتشابه اللاحقة متنحي يسمى التلقيح الإختباري testcross فهو يختبر تلك الحالات التي ينتج فيها طرازان جينيان (مثل RR و Rr) مختلفان نفس الطراز المظهري. لاحظ أنه بالنسبة للمشاهد العادي في حديقة الدبر لا يبدو هذا التهجين مختلفاً عن تهجين جيل الآباء P الذي سبق وصفه حيث كانت نباتات بسلة مستديرة البذور تهجن مع نباتات بسلة معجدة البذور. ولكن مندل في إعتقاده بأن النباتات مستديرة البذور في هذا التهجين متباينة اللاحقة تنبأ بأن البذور المستديرة والبذور المعجدة سوف يكون إنتاجها بنسبة ٥٠ : ٥٠ وقد قام فعلاً بالتهجين وجمع ١٠٦ من البذور المستديرة و ١٠١ من البذور المعجدة.

فسر إفتراض مندل كل الحقائق المعروفة وقاد إلى التنبؤ بحقائق أخرى لم تكن قد إكتشفت بعد. وعندما تم إكتشاف هذه الحقائق التي سبق التنبؤ بها قوي إفتراض مندل كثيراً. والإفتراض الذي يفسر كل الحقائق المعروفة وينجح في التنبؤ بحقائق جديدة يسمى نظرية theory وإذا إستمرت نظرية في أداء الوظيفة التفسيرية والوظيفة التنبؤية فلإنها في النهاية قد تسمى قانون law. إنان من إفتراضات مندل (ناقشنا واحداً منها حتى الآن) يعرفان الآن بقوانين مندل.

### ٧-١٠. الهجن الثنائية - قانون التوزيع المستقل

#### DIHYBRIDS - THE LAW OF INDEPENDENT ASSORTMENT

في نفس الوقت الذي كان مندل يدرس فيه توارث إستدارة وتجمع البذور قام أيضاً بإجراء تجارب مشابهة على أصناف بسلة مختلفة في ست صفات أخرى محددة. وقد أيدت نتائج كل هذه التجارب الأخرى إفتراضه. بعد ذلك قام بتهجين نباتات بسلة تختلف عن بعضها في صفتين. فقد لقم خلطياً صنفاً حقيقي التوارث بذوره مستديرة ولفقاته صفراء بصنف آخر حقيقي التوارث بذوره معجدة ولفقاته خضراء. وكانت كل

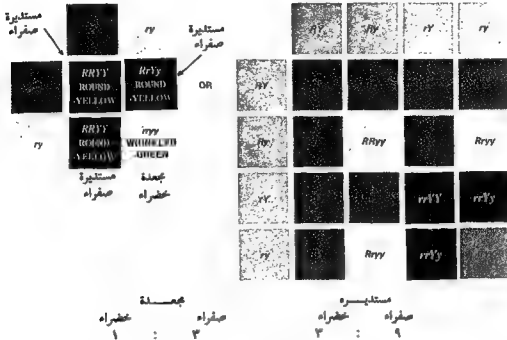


الشكل ١٠-٧. التلقيح الاختباري الذي أجراه مندل. على الرغم من أنه يشبه سطحياً التهجينات الأبوية السابقة إلا أن تنبؤ مندل بانتاج طرازين مظهرين قد تأكد.

البذور الناتجة من هذا التزاوج مستديرة وكانت كل الفلقات صفراء. وقد أكد ذلك ما توصل اليه مندل سابقاً من أن الجين الخاص بإصفرار الفلقات (مثل الجين الخاص باستدارة البذور) كان سائداً. (هذا الجيل الأول يسمى هجين ثنائي dihybrid لأنه ينتج من تهجين أبوين مختلفان في صفتين). ثم أنبت مندل هذه البذور وسمح للأزهار الناتجة بالتلقيح الذاتي. ويمكن توقع أحد إحتالين. فالجينات الخاصة بالشكل المستدير وإصفرار الفلقات الموروثة من أحد الأبوين قد لا تكون قابلة للإنفصال عن بعضها وبذلك تنتقل كوحدة واحدة إلى الجيل الثاني وإذا صح ذلك أيضاً بالنسبة للجينات الخاصة بالتجعد والإخضرار فإن المرء يتوقع أن تكون ثلاثة أرباع نباتات الجيل الثاني ذات بذور مستديرة وقلقات صفراء بينما يكون الربع ذو بذور مجعدة وقلقات خضراء (الشكل ١٠-٨).

أما إذا كانت الجينات الخاصة بشكل البذور ولون الفلقات تتوزع مستقلة عن بعضها البعض على الأمشاج فإن المرء يتوقع أن يجد في الجيل الثاني بذوراً مستديرة لها قلقات خضراء وبذوراً مجعدة ذات قلقات صفراء بالإضافة إلى تلك التي تشبه بذور الآباء. وحسب هذا الافتراض الأخير فإن هذا التهجين يؤدي إلى إنتاج أربعة طرز مظهرية بنسبة ٩ : ٣ : ٣ : ١ ، (الشكل ١٠-٨).

قام مندل بإجراء هذا التهجين وحصل على ٣١٥ بذرة مستديرة ذات قلقات صفراء و ١٠١ بذرة مجعدة فلقاتها صفراء و ١٠٨ بذرة مستديرة فلقاتها خضراء و ٣٢ بذرة مجعدة فلقاتها خضراء. ومن ميزات العمل الدقيق لماندل أنه قام بعد ذلك بانبات كل هذه البذور ليتأكد من وجود ٤ طرز جينية منفصلة بين البذور المستديرة الصفراء وطرازين



الشكل ١٠-٨. تنبؤات بديلة بنتائج التهجين بين هجينين ثنائيين. في هذه الحالة كان التنبؤ الثاني (الى اليمين) صحيحا.

جينين بين كل من البذور ذات التجمعات الجديدة من الصفات ولم يكن هناك إلا البذور (٣٢) المجعدة الخضراء ذات طراز جيني واحد. قادت هذه النتائج مندل إلى صياغة الإفتراض الأخير (أو القانون الثاني لمندل) : توزيع زوج من العوامل يكون مستقلاً عن توزيع الزوج الآخر. وقد سمي هذا فيما بعد بقانون التوزيع المستقل Law of independent assortment.

#### MENDEL'S THEORY : THE SEQUEL

#### ٨-١٠. ماتلى نظرية مندل

تم إجراء التجارب السابقة فيما بين عامي ١٨٥٨ و ١٨٦٦ وقد نشر مندل النتائج وتحليله لها في عام ١٨٦٦ ولم تلفت إلا القليل من إنتباه علماء الأحياء ولم يحاول أحد إعادة إجراء أي من هذه التجارب على صفات أخرى في كائنات أخرى. وقد ترك مندل هذه التجارب بسبب مشاغله المتزايدة في إدارة الدير.

توفي مندل في عام ١٨٨٤ ، وفي عام ١٩٠٠ أي بعد نشر نتائجه بأربعة وثلاثين عاماً أعيد إكتشاف عمله. فقد إكتشف ثلاثة علماء يعملون بمعزل عن بعضهم البعض

تماماً نفس المبادئ التي وصفناها ولم يكتشفوا أن هناك راهباً مغموراً قد سبقهم في ذلك بحوالي ثلث قرن إلا بعد أن كانوا قد أتموا تجاربهم .

قدم البعض كثيراً من الأسباب لفشل أعمال مندل في أن تحوز على القبول ولكن مهما كانت الأسباب فإن هذه الأعمال لم تفشل في ذلك . ومن المفارقات أن يبدأ التاريخ لتطور علم الوراثة في العام ١٩٠٠ وليس في عام ١٨٦٦ . لقد فشل عمل مندل في أن يصبح جزءاً من عالم العلم في أيامه ، ولكن عندما أصبح العلماء مستعدون لمتابعة ما توصل إليه مندل ، فقد أعادوا إكتشافه مرة ثانية .

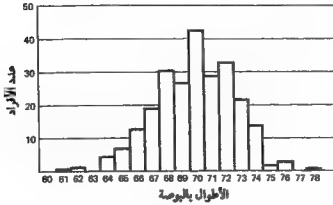
ما هو وضع قوانين مندل اليوم؟ على الرغم من إكتشاف بعض الإستثناءات الهامة إلا أنها مازالت تشكل الأساس الذي يقوم عليه علم الوراثة .

٩-١٠. التباين المستمر :

THE MULTIPLE-FACTOR HYPOTHESIS      إفتراض تعدد العوامل

نشأ أحد هذه الاستثناءات من دراسة توارث صفات تختلف كمياً في الأفراد المختلفة . وكان مندل قد حصر دراسته على الصفات التي تتباين بصورة قاطعة ويسهل تمييزها أي بصورة كمية . ولكن الرجال ليسوا إما طوالاً أو قصاراً فقط كما أنهم ليسوا ثقلاً أو خفاف الوزن فقط . فهناك صفات عديدة يكون التباين فيها كمياً في عشيرة من العشائر (الشكل ٩-١٠) . وبعض هذا التباين يمكن تفسيره على أساس إختلافات في التغذية أو ربما عوامل بيئية أخرى . ولكن البيئة ليست كافية لتفسير المدى الكامل من التباين في الأطوال والأوزان . ولا تكون أي نظرية عن الوراثة تامة النجاح حتى نجد تفسيراً لمثل هذا النوع من التباين .

بحلول عام ١٩٠٨ جمعت المعلومات التي قادت الى حل للمشكلة . فقد درس عالم الوراثة السويدي نيلسون - أيل توارث لون الحبوب في القمح . وباستعمال طرق مندل تم تمييز سلالة نقية حمراء الحبوب مع سلالة نقية بيضاء الحبوب وكانت الحبوب حمراء في جميع أفراد النسل تقريباً ، إلا أن شدة اللون كانت أقل بكثير مما في الحبوب الحمراء للأب ، وقد بدا أن تأثير الجين الخاص بالحمراء اللون قد تم تعديله بوجود الجين الخاص باللون الأبيض في أفراد الجيل الأول . هذه الظاهرة التي لم تحدث في دراسات مندل تسمى السيادة الناقصة incomplete dominance.

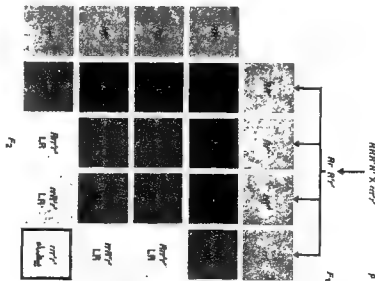
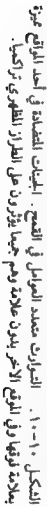


الشكل ١٠-٩. رسم بياني يوضح توزيع الأطوال بين مجموعة من الذكور في مدرسة ثانوية.

عندما رَآوَجَ نيلسون - أيل بين نباتين من الجيل الأول، حصل على الجيل الثاني، وفيه كانت نسبة النباتات حمراء الحبوب إلى النباتات بيضاء الحبوب هي ١٥ : ١، ولكن الفحص الدقيق أوضح أن الحبوب الحمراء ليست جميعاً متشابهة، وكان من السهل فصلها إلى أربعة مجموعات مختلفة. كان ١٥/١ منهم أحمر داكن مثل الأب، وكان ١٥/٤ أحمر فاتح. أمكن تفسير هذه النتائج بوضع إفتراض مؤداه أن لون الحبوب في القمح لا يتحكم فيه زوج واحد، ولكن زوجان من الجينات يتراكم تأثيرهما دون سيادة ملحوظة، (الشكل ١٠-١١). عند وجود أربعة جينات للون الأحمر ينتج لون أحمر داكن، وعند وجود أربعة جينات للون الأبيض تكون الحبوب بيضاء، بينما وجود واحد فقط من جينات الاحمرار الأربعة ينتج لون أحمر فاتح، ووجود أي اثنين من الأربعة يعطي حبوباً ذات لون أحمر متوسط، أما وجود ثلاثة من الجينات الأربعة فينتج حبوباً ذات لون أحمر داكن متوسط. إذا رسمنا رسماً بيانياً يوضح أعداد النسل في الجيل الثاني مع شدة اللون تحصل على رسم يشبه ذلك الموضح في الشكل ١٠-١٠.

في أصناف قمح أخرى وجد نيلسون - أيل النسبة بين الحبوب الحمراء والحبوب البيضاء في الجيل الثاني ٦٣ : ١ ويمكن تفسير ذلك بافتراض أن هناك ثلاثة أزواج من الجينات المتضادة تتحكم في اللون. في هذه الحالات أمكن التعرف على ست درجات من اللون الأحمر (حاول أن تحسب بنفسك الوراثة في هذا التهجيز). كانت إختلافات اللون طفيفة للغاية. وقد سببت عوامل البيئة كذلك إختلافات في شدة اللون بحيث إتخذت الحبوب مدى مستمراً من كل درجات اللون بين الأحمر الداكن والأبيض.

وجود تباين مستمر في صفة إذن يمكن تفسيره بافتراض وجود عدة أزواج من الجينات



التي تتحكم في هذه الصفة وأن تأثيرها يتراكم . هذا الافتراض يسمى إفتراض العوامل المتعددة multiple-factor hypothesis (ويسمى أيضاً نظرية التوارث عديد الجينات (theory of polygenic inheritance). وهي تقول أن :

- (١) عندما تتزاوج أنواع متطرفة (مثل AABB, aabb) يكون النسل وسطاً بينها .
- (٢) عندما تتزاوج أنواع وسيطة تكون غالبية النسل وسطاً بينها ولكن تنتج كذلك أنواع متطرفة .
- (٣) نتائج التزاوج العشوائي في عشائر كبيرة تكون على هيئة مدى واسع من الأنواع وتكون أكبر الأعداد في المدى المتوسط وأقلها تكون متطرفة .

هذه التأثيرات يمكن ملاحظتها بالفعل في أغلب حالات التباين الكمي في الكائنات الحية .

عندما قام مندل بتجارية في الوراثة لم تكن طبيعة النواة والكروموسومات والانقسام الاختزالي مفهومة وعندما صاغ فكرة الجينات لم يحاول وصفها على أنها كيانات طبيعية أو أن يقول بدقة أين توجد في الأمشاج . بالنسبة لمندل كانت الجينات كيانات إفتراضية تفسر الأنماط الوراثية المشاهدة . وعندما أعاد علماء الأحياء إكتشاف أعماله سارعوا إلى ربط سلوك جيناته مع الظواهر المرئية في الخلية وتشكل جهودهم موضوع الباب التالي .

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

تتحكم كيانات محددة تسمى الجينات في الصفات المرئية (الطراز المظهري) للكائن . في الكائنات ثنائية العدد الكروموسومي يتحكم زوج واحد على الأقل من الجينات في كل صفة من صفات الطراز المظهري ويكون كل فرد من هذا الزوج موروثاً من أحد الأبوين . إذا اختلف أفراد الزوج في تأثيرهم الدقيق على الطراز المظهري فإنهم يسمون الجينات المتضادة . الجينات المتضادة هي أشكال بديلة لجين واحد مثل الجين الذي يتحكم في لون البذور في البسلة .

الكائن الذي يوجد به زوج من الجينات المتماثلة لصفة ما يسمى متشابه اللاحقة بالنسبة لهذين الجينين، أما ذلك الذي يوجد به جينين مختلفين فيسمى متباين اللاحقة . في الكائنات متباينة اللاحقة قد يتم التعبير عن أحد الجينات (سائد) وعدم ظهور الآخر



بالكامل أو قد يتأثر الطراز المظهري بكلا الجينين معاً (السيادة الناقصة).  
 عند تكوين الأمشاج (الجراثيم في النباتات) بالإنقسام الاختزالي تنفصل أزواج الجينات وتوزع منفردة في كل مشيج (أو جرثومة) (قانون الانعزال لمندل).  
 وجد مندل أن توارث زوج من الجينات يكون مستقلاً تماماً عن توارث أي زوج آخر (قانون التوزيع المستقل). وكما سترى حالاً فإن هذا صحيح فقط عندما يكون زوجا الجينات المعنيين على كروموسومات مختلفة أو متباعدين تماماً على نفس الكروموسوم.  
 بعض الصفات يكون التحكم فيها بواسطة أكثر من زوج واحد من الجينات هذا التوارث متعدد الجينات أو عديد العوامل يميز الصفات التي تميل إلى التباين المستمر من أحد النقيضين إلى الآخر (مثل وزن الجسم) بحيث يكون لغالبية الأفراد طراز مظهري بين النقيضين.

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - ما هي الألفاظ التي إستعملها وايزمان للتمييز بين خلايا جسم الحيوان وخلاياه التناسلية.
- ٢ - هل تنطبق هذه الألفاظ بنفس الدرجة على البكتريا؟ وعلى النباتات؟
- ٣ - صف المحتوى الجيني للأنواع المختلفة من بويضات امرأة لها طراز جيني  $Kk$ .
- ٤ - هل صحيح أن نقول إن تهجين نباتي بسلة متبايني الالاقحة أزهارهما حمراء سوف ينتج ٨ بذور، إثنين منها متشابهة الالاقحة لهذه الصفة ؟ إشرح.
- ٥ - الجين الخاص بالطول في البسلة سائد بالنسبة لجين التقزم. وقد أنتج التهجين بين نبات طويل ونبات قزم ٨٦ نباتاً طويلاً و ٨١ نباتاً قزماً. ماهو الطراز الجيني المحتمل للنبات الطويل؟ وماذا يسمى هذا النوع من التهجين؟
- ٦ - ميز بين الحقيقة والافتراض. هل يمكن دائماً التمييز بينهما؟
- ٧ - في ذبابة الفاكهة اللون البني للعين متنحي بالنسبة للون الأحمر والجناح المنحني متنحي بالنسبة للجناح المستقيم. فإذا تم تهجين بين ذبابة نقية عيونها بنية وجناحها مستقيم وذبابة ذات عيون حمراء وجناح منحنى ماذا تكون الطرز المظهرية في الجيل الأول؟ وإذا سمح لذبابتين من الجيل الأول بالتزاوج فما هي

الطرز المظهرية للجيل الثاني؟ وبأي نسبة؟

٨ — كم عدد الطرز الجينية المختلفة في الجيل الثاني في السؤال رقم ٧؟

٩ — عند تهجين النبات (أ) نقي طويل، مع النبات (ب) نقي قصير، جاء كل أفراد النسل متوسطي الطول. وعند إجراء التهجين بين إثنين من هذا النسل كان ١٦/١ من الجيل التالي بنفس طول الجد الطويل. كيف تفسر ذلك؟

١٠ — عرف الجين؟

## REFERENCES

## المراجع

- 1- CASTLE, W. E., and J.C. PHILLIPS, "Successful Ovarian Transplantation in the Guinea-Pig, and its Bearing on Problems of Genetics," Great Experiments in Biology, ed. by M.L. Gabriel and S. Fogel, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1955. A brief report of their experiment.
- 2- MENDEL, G., Experiments in Plant Hybridization, Classic Papers in Genetics ed. by James A. Peters, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1959. A clear Presentation of Mendel's experiments and his interpretation of his results.

## CHAPTER 11

## الباب الحادي عشر

### GENES ON CHROMOSOMES

### جينات على كروموسومات

PARALLEL BEHAVIOR OF GENES AND CHROMOSOMES	١-١١ . السلوك المتوازي للجينات والكروموسومية
TESTS OF THE CHROMOSOME THEORY	٢-١١ . اختبارات النظرية الكروموسومات
SEX DETERMINATION	٣-١١ . تحديد الجنس
X-LINKAGE	٤-١١ . ارتباط X
CHROMOSOME ABNORMALITIES	٥-١١ . الشواذ الكروموسومية
LINKAGE	٦-١١ . الارتباط
CHROMOSOME MAPS	٧-١١ . الخرائط الكروموسومية
THE EVIDENCE OF CREIGHTON AND McCLINTOCK	٨-١١ . دليل كريغتون ومكلتوك
ASSIGNING LINKAGE GROUPS TO CHROMOSOMES	٩-١١ . نسبة المجموعات الارتباطية إلى كروموسومات
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل



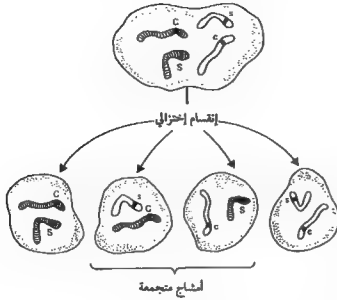
## الباب الحادي عشر

### جينات على كروموسومات

في الأعوام التي أغفلت فيها إكتشافات مندل حدثت إكتشافات عديدة وهامة في مجال علم الخلية cytology فقد إتضح أهمية النواة في الهيمنة على صفات الكائن بواسطة دراسات بوفري على بويضات قنفذ البحر والتي نوقشت في الباب رقم ٥ كذلك تم إكتشاف سلوك الكروموسومات في الانقسام غير المباشر والانقسام الاختزالي .

#### ١١-١ . السلوك المتوازي للجينات PARALLEL BEHAVIOUR OF GENES والكروموسومات AND CHROMOSOMES

بعد إعادة إكتشاف قوانين مندل بقليل توصل العديد من الباحثين ومنهم هـ. إي . ساتون وبوفري نفسه إلى أن بعض قواعد مندل يمكن تفسيرها إذا كانت الجينات موجودة على أو في الكروموسومات . وقد سبق لمندل أن قال أن الجينات توجد في أزواج ويأتي كل فرد منها من أحد الأبوين . والكروموسومات أيضا توجد في أزواج يأتي كل فرد منها من أحد الأبوين . وقد قال مندل أنه عند إنتاج الخلايا التناسلية تنفصل العوامل (أو الجينات) المزدوجة وتتوزع كوحدة على كل مشيج (قانون الأنزال) . في الانقسام الاختزالي تنفصل الأزواج المتماثلة من الكروموسومات ويذهب فرد واحد فقط من كل زوج إلى إحدى الخلايا الجنسية . وقال مندل كذلك أنه عند تهجين الهجن الثنائية فإن توزيع زوج واحد من العوامل يكون مستقلا عن توزيع الزوج الآخر (قانون التوزيع المستقل) . وفي الانقسام الإختزالي يكون توزيع الكروموسومات الأبوية والكروموسومات الأمية عشوائيا بالكامل . فاذا إفترضنا أن جينات إحدى الصفات



الشكل ١١-١. إعادة توزيع الجينات كنتيجة للتوزيع العشوائي للكروموسومات أثناء الانقسام الاختزالي. المكان الذي يشغله الجين في الكروموسوم يسمى الموقع. فإذا كانت مواقع الجينات في فرد متباين اللاحقة مزدوج (كما هو مبين هنا) على كروموسومات مختلفة فإن التوزيع العشوائي لهذه الكروموسومات سوف يؤدي الى انتاج الأنواع الأربعة المحتملة من تجمعات الجينات وبأعداد متساوية.

ولكن شكل البذرة موجودة على زوج واحد من الكروموسومات بينما تكون جينات الصفة الأخرى (لون الفلقات) على زوج آخر فإن التوزيع المستقل لأزواج الكروموسومات سيؤدي أيضا الى التوزيع المستقل للصفات (الشكل ١١-١).

وحيث أنه يوجد بالكائن جينات أكثر بكثير مما يوجد به من الكروموسومات فإنه لا بد أن يحتوي كل كروموسوم على العديد من الجينات. موضع وجود جين معين على الكروموسوم يسمى الموقع (أو المكان) Locus. ويفترض أن الجينين المتحكمين في صفة ما يشغلان موقعين متقابلين على الزوج المتماثل من الكروموسومات.

إذا زواجنا بين هجينين ثنائيين كانت الجينات المتحكم في صفتيها على نفس الكروموسوم فهل نتوقع أن يظل قانون مندل للتوزيع المستقل متاسكا؟ سوف نرى لاحقا في هذا الباب أن هذا القانون لا ينطبق على الهجن الثنائية من هذا النوع. وبدلا من ذلك توصف الجينات بأن بينها ارتباط Linkage.

ومن أجل الأيضاح المباشر لمصادقية النظرية الكروموسومية كان من الضروري الربط بين وجود أو غياب صفة ما أو مجموعة من الصفات مع وجود أو غياب كروموسوم معين في الخلايا الجسدية للكائن. ولكن الجينين المتحكمين في التعبير عن صفة

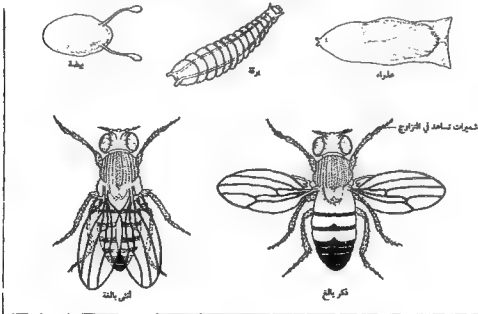
ما موجودان على موقعين متقابلين في زوج متماثل من الكروموسومات حسب النظرية الكروموسومية وقد تكون الكروموسومات المتماثلة سهلة التمييز بالنظر عن بقية الكروموسومات في الخلية ولكن لا يمكن التمييز بينها وبين بعضها. ولذلك فانه لا يمكن معرفة ما اذا كان أحد كروموسومات زوج متماثل يحمل جينا معيناً أم لا بمجرد الفحص البصري.

### TESTS OF THE CHROMOSOME THEORY      إختبارات النظرية الكروموسومية

#### SEX DETERMINATION

#### ٢-١١. تحديد الجنس

جاء أول حل لهذه المشكلة من دراسات تمت على ذبابة الفاكهة *Drosophila melanogaster* (الشكل ٢-١١). كان توماس هاردي مورجان رائد إستعمال هذا الكائن الضئيل في البحوث الوراثية وكان هذا إختياراً رائعاً لعدة أسباب. أولاً أن الذبابات ضئيلة الحجم وبذلك يمكن تربية عشائر كبيرة منها في المختبر بسهولة. ثانياً أن دورة حياتها تتم بسرعة حيث يمكن إنتاج جيل جديد من ذبابات بالغة كل أسبوعين. وثالثاً أن الأنثى خصيبة جداً إذ تضع الأنثى عدة مئات من البيضات



الشكل ٢-١١. بعض مراحل تطور ذبابة الفاكهة.



الشكل ١١-٣. كروموسومات عملاقة من الغدد اللعابية في ذبابة الفاكهة. مثل هذه الكروموسومات توجد في خلايا أخرى ضخمة ونشطة (يتصرع من ب. ب. كاولمان).

المخصصة خلال عمرها القصير والعشائر الكبيرة الناتجة تجعل التحليلات الأحصائية سهلة ويعتمد عليها. وهناك سبب رابع تم إكتشافه وهو وجود كروموسومات عملاقة في غدد اللعاب عند البققات. هذه الكروموسومات (الشكل ١١-٣) تبين فيها تفاصيل تركيبية أكثر بكثير مما تبديه الكروموسومات العادية في خلايا الجسم. كما أن هذه الكروموسومات تكون مرئية خلال مرحلة ما بين الأنقسامات interphase حيث تكون الكروموسومات عادة غير واضحة المعالم. أصل الكروموسومات العملاقة وفوائدها الخاصة في البحوث سوف نتعرض لها بالشرح في الباب ١٥ والباب ١٨.

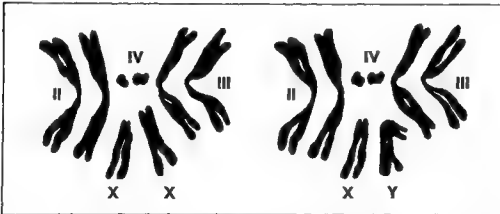
على الرغم من أن أنثى ذبابة الفاكهة بها أربعة أزواج متماثلة من الكروموسومات (الشكل ١١-٤)، إلا أن الذكر به ثلاثة أزواج متماثلة فقط. الكروموسومان الباقيان غير



متماثلين . أحد فردى هذا الزوج الرابع من الكروموسومات يطابق في مظهره الزوج الرابع في الأنثى هو يسمى الكروموسوم X. أما الفرد الآخر فهو يختلف تماماً في مظهره ويسمى كروموسوم Y (الشكل ٤-١١) . ويسمى الكروموسوم X والكروموسوم Y معا بالكروموسومات الجنسية sex chromosomes لأن وجودهما مرتبط دائماً بالجنس في الذبابة . أما بقية الكروموسومات فتسمى بالكروموسومات الذاتية autosomes . كنتيجة لفصل أزواج الكروموسومات المتماثلة أثناء الانقسام الاختزالي فإن بيضات ذبابة الفاكهة تحتوي على واحد من كل من الكروموسومات الذاتية زائد كروموسوم X واحد . أما الخلايا المنوية التي تنتجها الذبابة الذكر فتحتوي على ثلاثة كروموسومات ذاتية وكروموسوم X أو كروموسوم Y . ويمكننا توضيح نتائج الاندماج العشوائي بين هذه البيضات والحيوانات المنوية بمربع بونيت (الشكل ٥-١١) .

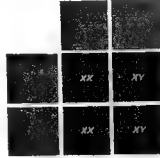
(لاحظ أن الرموز تعني الآن الكروموسومات كاملة ولا تعني جينات) . وبسرعة يمكن للمرء أن يستنتج أن النسل سوف يتكون بالتساوي من ذكور وأنثى وهذا ما يحدث بالفعل .

الاختلافات بين الذكور والأنثى ترتبط ببعض الصفات المتوارثة المحددة . فتوزيع الأصباغ في منطقة البطن في الذكور (الشكل ٢-١١) وعضو التذكير والأشواك الموجودة على القطعة الرسغية الأولى من الرجل الأمامية ليست إلا بعض الصفات التي تميز



الشكل ٤-١١ . الكروموسومات في ذبابة الفاكهة . كل جنس به ثلاثة أزواج من الكروموسومات المتماثلة الذاتية . بالإضافة الى ذلك يوجد بالانثى زوج من كروموسومات X (الى اليسار) وفي الذكور كروموسوم X وكروموسوم Y (الى اليمين) . هذه هي كروموسومات الجنس .

الشكل ١١-٥. تحديد الجنس. يوجد في كل مشيج كروموسوم جنس واحد. في الثدييات الزيجوت الذي يتلقى ٢ كروموسوم X يكون أنثى والزيجوت الذي يتلقى كروموسوم X و كروموسوم Y يكون ذكر. على ذلك تكون كروموسومات الحيوان المنوي هي المحددة للجنس في النسل.



الذكور في ذبابة الفاكهة عن الأنثى. ويجرد الارتباط بين وجود أو غياب هذه الصفات وكروموسومات الجنس هو دليل على صحة النظرية الكروموسومية في الوراثة.

ومن الواضح أنه يمكن اعتبار الكروموسوم Y كحامل للجينات المحددة للذكورة وهذه هي الحالة فعلا في الثدييات بما في ذلك الإنسان. أما في الكثير من الحشرات (بما في ذلك ذبابة الفاكهة) فإن الكروموسوم Y يبدو خاملا وراثيا فقد أمكن إكتشاف عدد قليل من الجينات عليه وهذه ليس لها علاقة مباشرة بالجنس. وربما كانت الكروموسومات الذاتية تحمل الجينات المحددة للذكورة وأنه يلزم جينان من النوع X لآلفاء تأثيرهما وظهور الأنوثة. والحقيقة أن ذكر النطاط grasshopper ليس فيه كروموسوم Y بالمرّة وإنما كروموسوم X واحد بينما يوجد في الأنثى إثنان هي دليل يؤيد هذه الفكرة. في الطيور يوجد الكروموسومان X Y في الأنثى بينما يوجد XX في الذكور. وفي الزواحف والبرمائيات والأسماك ذات الكروموسومات الجنسية فإن بعض الأنواع تكون فيها الأنثى متألّة المشيج homogametic (XX) وفي البعض الآخر تكون الذكور متألّة المشيج.

وأيا كانت الآليات المعنية فإن الجنس في المملكة الحيوانية يبدو مرتبطا مباشرة بترتيب كروموسومات معينة وبذلك يؤيد النظرية العامة أن الكروموسومات تحمل محددات الصفات في الكائن.

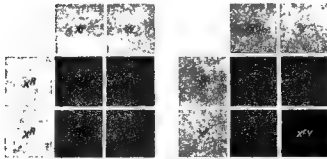
### X-LINKAGE

### ١١-٣. إرتباط على X

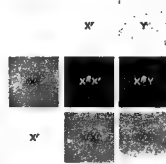
إكتشاف آلية تحديد الجنس في ذبابة الفاكهة مهد السبيل بسرعة لأختبار آخر للنظرية

الكروموسومية وهو الخاص بتوارث صفة واحدة. في إحدى مزارع مورجان من ذبابة الفاكهة ظهرت ذبابة مذكورة عيونها بيضاء بدلا من اللون الأحمر اللامع المميز للنوع. وعند تزاوج هذه الذبابة مع أنثى حمراء العيون عادية كان لكل النسل عيون حمراء. وقد أوحى ذلك بأنه إذا كان جين معين يتحكم في صفة بياض العين فلا بد أنه يكون متنحيا. وحسب قانون الأنعزال للمدل فإن كل أفراد الجيل الأول حمراء العيون لابد أن يكونوا هجين بالنسبة لهذه الصفة (لماذا؟). وحينئذ يمكننا أن نتنبأ بأنه إذا تزاوج فردان حمراء العيون من الجيل الأول فإن ربع ذبابات الجيل الثاني ستكون بيضاء العيون. وعندما قام مورجان بهذا التهجين وجد أن ذلك قد حدث بالفعل ومع ذلك كانت كل الذبابات بيضاء العيون مذكورة ولم تظهر أنثى واحدة بيضاء العيون. وقد فكر مورجان أن هذا النوع الفريد من التوارث المرتبط بالجنس يمكن تفسيره إذا افترض أن الجينات المعنية بهذه الصفة كانت على الكروموسوم X. الذبابات المؤنثة وبها كروموسومين X لا بد أن تكون متشابهة اللاحقة لبياض العيون حتى تظهر عليها هذه الصفة أما الذكور وبها كروموسوم X واحد فتبدو عليها الصفة أيا كان نوع الجين الموجود على هذا الكروموسوم. حتى إذا كان الجين المتنحي (r) فإن الكروموسوم Y لن يحتوي على الجين الذي يمكن أن يكون سائداً عليه.

الشكل ١١-٦ يبين تخطيطيا فكرة مورجان عما حدث في أول تهجينين أجراها. مرة أخرى الرمزان X و Y يرمزان إلى الكروموسومات المئثة بينما



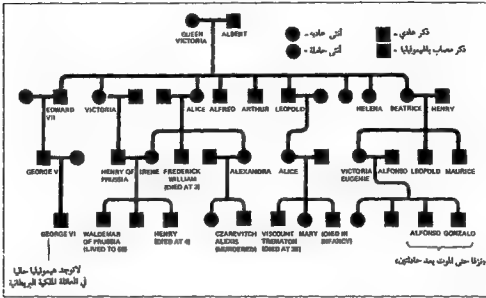
الشكل ١١-٦. آلية الارتباط على الكروموسوم X. الجين المتنحي المرتبط بالكروموسوم X يظهر تأثيره في الذكور لأن الموقع المقابل على الكروموسوم Y غير موجود. R = جين سائد مرتبط بالكروموسوم X ويتج عيون حمراء في ذبابة الفاكهة - r = الجين المتنحي المرتبط بالكروموسوم X ويتج عيون بيضاء.



الشكل ١١-٧. التلقيح الاختباري الذي أجراه مورجان بتهجين ذكور بيض العيون مع إناث حاملة تمكن مورجان من انتاج انث بيض العيون.

الحرفان العلويان R و r فيرمزان الى الجين السائد والجين المتنحي على الترتيب. إذا صح هذا الافتراض فانه يكون من الممكن إنتاج إناث بيض العيون بالتزاوج بين ذكور بيض العيون مع إناث من الجيل الأول. وقد أجرى مورجان هذا التهجين وأنتج كل الأنواع الأربعة من الذباب وبأعداد متساوية تقريبا (الشكل ١١-٧). ويمكننا اليوم أن نسمي هذا النوع من التوارث بالمربط مع X لأن الجينات موجودة على الكروموسوم X. في البشر يكون عمى الألوان والتزيف المعروف باسم هيموفيليا hemophilia وأكثر من مائة صفة أخرى تنتجها جينات موجودة على الكروموسوم X. وهذه الصفات تكون نادرة في الإناث لأنه عليهم أن يرثوا العاملين المتنجين من الأب ومن الأم حتى تظهر عليهم هذه الصفات. وهذا إحتمال بعيد خاصة في حالة الهيموفيليا إذ أن المريض بهذا الداء نادرا ما يصير أباً. الشكل ١١-٨ يبين شجرة العائلة لأحفاد الملكة فيكتوريا. لاحظ أن جين الهيموفيليا الذي أبتليت به البيوت الملكية في أوروبا منذ عهدها كان دائما تقريبا ينتقل من خلال الأمهات اللاتي كن متباينات اللاحقة في هذه الصفة وبالتالي لم تبد عليهن أي أعراض للمرض ونحن نسميهم حاملات carriers لأنه على الرغم من خلوهن من الأعراض إلا أنهن قد نقلن الجين المتنحي لحوالي نصف أبنائهن الذين أصيبوا بالتزيف.

يمكن تجنب الكثير من العجز والحزن إذا تمكنا من التوصل الى طريقة للكشف عن حوامل العيوب الوراثية. فمعرفة حالتهم الوراثية تشكل أساس لتقييم خطورة انتقال هذه العيوب الى الأبناء. بالنسبة للكثير من العيوب الوراثية (بما في ذلك الهيموفيليا) فإن وجود جين واحد يسمح بأداء وظيفي عادي أي أن الجين الجيد يبدو سائداً. ومع ذلك فقد ظهرت إختبارات كيميائية حساسة بحيث أصبح الآن ممكنا في أغلب الأحوال

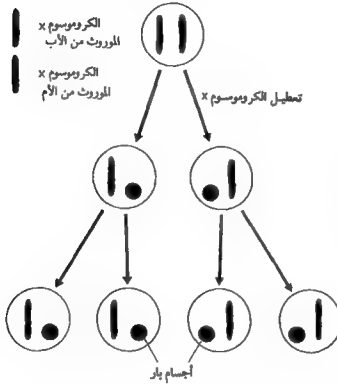


الشكل ١١-٨. شجرة العائلة وهي توضح توارث نزف الدم (هيموفيليا) - صفة مرتبطة بالكروموسوم X - في ذرية الملكة فيكتوريا. كثيرون من هذه الذرية من الجيل الثالث و الجيل الرابع (الصف الثالث والصف الرابع) قد أغفلوا هنا لأن الجين المتطفر لم يتقل إليهم. علامة الاستفهام عند بعض الأفراد تعني أن حالتهم غير مؤكدة.

الكشف عن المستويات المنخفضة من نشاط الجينات في «الحوامل» ربما كان سبب ذلك في بعض الحالات أن جين واحد لا يستطيع أن يؤدي العمل مثلما يؤديه جينان. وفي حالة الجينات المرتبطة مع X هناك آلية أخرى لها دور وهي توقف نشاط أحد الكروموسومين X في كل خلية من خلايا الأنثى.

أثناء الطور البيئي تكون الكروموسومات صغيرة للغاية بحيث لا يمكن صبغها ومشاهدتها بالمجهر. ومع ذلك يوجد في إناث الثدييات تركيب كثيف يمكن صبغه في كل أنوية الطور البيئي وهو لا يوجد في الذكور العاديين. هذا التركيب (الذي يسمى جسم بار Barr body نسبة إلى مكتشفه) هو أحد الكروموسومين X. ومظهره الكثيف هو انعكاس لتوقف نشاطه.

ويبدو أنه في المراحل الأولى من نشأة الجنين فإن واحداً أو الآخر من الكروموسومين X في الإناث يصبح عديم النشاط ويتحول إلى جسم بار (الشكل ١١-٩). وربما يكون فقد نشاط أحد الكروموسومين أو الآخر مسألة صدفة (ماعدا في حالة الحيوانات



الشكل ٩-١١. فقدان الكروموسوم X لنشاطه مع تكوين أجسام بار. أي واحد من كروموسوم X هو الذي يفقد نشاطه مسألة صدفة ومع ذلك فإن كل الخلايا المنحدرة عن تلك الخلية سيكون بها نفس الكروموسوم X فاقدا لنشاطه.

الكيسية marsupials مثل الكانجارو حيث يكون الكروموسوم X الموروث من الأب هو الذي يفقد نشاطه). وبعد أن يتوقف نشاط الكروموسوم فإن كل النسل المنحدر عن هذه الخلية سيكون فيه الكروموسوم في الحالة غير الفعالة. ولنا مرة أخرى أن نستعمل اللفظ جماعة clone لوصف نسل هذه الخلية. وعلى الرغم من أن جميع الخلايا في فرد ما قد يكون لها نفس المحتوى الجيني المطلق فإن فقد نشاط الكروموسوم X ينجم عنه تكوين تحت عشائر subpopulations (أو جماعات) متباينة في محتواها الجيني الفعال.

يشتمل العديد من العيوب السوراثية المرتبطة بالكروموسوم X على نقص في تخليق الأنزيمات. عندما تؤخذ خلايا من نساء يحملن مثل تلك الصفات وتربي في مزرعة نسيجية tissue culture فأنتا نتوقع أن نجد بعض الخلايا التي يظهر فيها هذا العيب والبعض الآخر الذي لا يظهر فيه العيب. وفي أربع من هذه الحالات على الأقل أمكن التعرف على وجود مثل هذه العشائر. الجماعات التي تفشل في التعبير عن النشاط الأنزيمي ربما كانت منحدرة عن خلية توقف الكروموسوم X فيها وعليه الجين العادي عن النشاط. الكائن الذي تختلف خلاياه في محتواها الجيني الفعال

وبالتالي في التعبير عن صفة ما يسمى مبرقش وراثي genetic mosaic.

إكتشاف وتحليل الصفات المرتبطة بالكروموسوم X وتعبيرهم المبرقش الفريد أدى الى المزيد من التدهيم للنظرية الكروموسومية في الوراثة . وكل واحد من الأمثلة التي سبق وصفها يمكن تفسيره على أحسن وجه بافتراض أن الجينات المعنية توجد على كروموسوم معين .

#### ١١-٤ . الشواذ الكروموسومية CHROMOSOME ABNORMALITIES

أوضح تحليل النواة karyotype analysis (الشكل ١١-١٠) أنه في حوالي ٣٪ من حالات الحمل في الإنسان تحتوي خلايا الطفل على كروموسومات شاذة وغالبا ما تكون هذه الشواذ مرتبطة بتشوهات شديدة ولكن ليس دائما . وتقع الشواذ الكروموسومية في مجموعتين رئيسيتين هما : (١) تغيرات في عدد الكروموسومات و (٢) تغيرات في تركيب واحد أو أكثر من الكروموسومات . ينشأ معظم الخلل في أعداد الكروموسومات في البشر بسبب عدم نجاح الانفصال nondisjunction . لذلك تذكر أنه في الانقسام الاختزالي تنفصل الكروموسومات المتماثلة ويذهب كل واحد منها إلى أحد قطبي الخلية . في حالات نادرة يفشل زوج من الكروموسومات المتماثلة في الانفصال (و هذا هو عدم نجاح الانفصال) وكتيجة لذلك فإن إحدى الخليتين البنويتين تحصل على الكروموسومين المتماثلين معاً ولا تحصل الأخرى على أي منها .

إذا إستخدم الحيوان المنوي أو البويضة الناتجة من مثل تلك الخلايا المعنية في الأخصاب فسوف تنتقل الزيادة أو النقص الكروموسومي الموجود بها الى الزيجوت . ويعاني حوالي ٢ , ١٪ من المواليد من مرض داون Down's syndrome الذي يتميز بعدد من العيوب تشمل التخلف العقلي الشديد والقابلية الشديدة للإصابة بسرطان الدم leukemia وتحليل النواة هؤلاء الأطفال التعساء يكشف عن وجود ٤٧ كروموسوم بدلا من ٤٦ والكروموسوم الزائد هو رقم ٢١ (الشكل ١١-١) . وإحدى الطرق التي يتلقى بها الزيجوت ثلاثة كروموسومات رقم ٢١ هي عدم نجاح الانفصال أثناء تكون البويضات وهو ما يؤدي الى حصول بويضة على كروموسومين رقم ٢١ من الأم . وتزداد فرصة حدوث ذلك بزيادة العمر فالنساء المتقدمات في السن يكن عرضة أكثر من غيرهن الصغيرات نسبياً لأنجاب أطفال بهم هذا العيب . وقد تم الكشف كذلك عن وجود

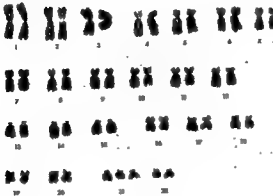


الشكل ١١-١٠. (أ) ٤٦  
كروموسوم من امرأة.  
كروموسومي X يميزان بعلامة  
(بتصريح من الدكتورين  
ت. ت. بك وج. هـ.  
تجيب). التركيب  
الكروموسومي يمكن تحليله  
بسهولة عند قطع الصورة إلى  
أجزاء يحتوي كل منها على  
كروموسوم واحد. رتبهم  
في أزواج متشابهة.



(ب) التركيب الكروموسومي  
لرجل عادي. الكروموسوم X  
والكروموسوم Y يميزان  
بحرفي X و Y.

(ب)



(ج) التركيب الكروموسومي  
لضحية من ضحايا مرض  
داون. بسبب وجود  
الكروموسوم الثالث رقم ٢١  
فإن المرض يسمّى أيضاً  
بالجسم الثلاثي (trisomy ٢١)  
(21 ماذا كان جنس هذا  
الفرد؟) (الشكلان ب و  
ج).

(بتصريح من الدكتور  
جيمس ل. جرمان الثالث).

(ج)



أطفال بهم ثلاثة كروموسومات رقم ١٣ أو ثلاثة كروموسومات رقم ١٨ ويكون كل من هذين العيين مصحوباً بتشوهات تركيبية شديدة.

توجد أيضاً أعداد شاذة من كروموسومات الجنس ولكن بدرجة أقل . هذه الشواذ الكروموسومية لا تؤدي الى مثل تلك التشوهات الشديدة التي تنجم عن الكروموسومات الذاتية . الأشخاص الذين لديهم  $XXY$  أو  $XXXY$  ينشأون كذكور (بسبب وجود الكروموسوم  $Y$ ) ولكنهم يكونوا عقيمين (تسمى هذه الحالة بمرض كلاينفلتر Klinefelter's syndrome) الذكور الذين لديهم  $XXY$  معروفون أيضاً وقد أوضحت الدراسات في كل من إنجلترا والولايات المتحدة أن هذا التركيب الكروموسومي مرتبط بالزيادة في الطول (٦ أقدام أو أكثر) كما أنه أكثر إنتشاراً بين نزلاء السجون والمصححات العقلية عنه في عامة الناس .

هناك إناث بهن كروموسوم  $X$  مفرد وعلى الرغم من أن هذه حالة غير عادية فإن مجرد أنهن أحياء أصلاً يدعم الفكرة التي ناقشناها سابقاً في هذا الباب أن كروموسوم  $X$  واحد يقوم بالمهمة في خلايا الاناث وهذا يفسر أيضاً الرأفة النسبية للتركيب الكروموسومية  $XXX$  و  $XXXX$  وحتى  $XXXXX$  التي وجدت جميعاً في الاناث . وبينما يكون بالاناث العاديين كروموسوم  $X$  فاقد النشاط وبالتالي جسم بار واحد فإن جميع كروموسومات  $X$  في هؤلاء الاناث تفقد نشاطها ويكون عدد أجسام بار في خلاياهن مساوياً لعدد كروموسومات  $X$  ناقص واحد (الشكل ١١-١١) .

في النباتات ونادراً في الحيوانات نجد أحياناً صورة أخرى من صور الشذوذ في عدد الكروموسومات تسمى التضاعف الكروموسومي  $polyploidy$ . أكثر أسباب حدوث التضاعف الكروموسومي شيوعاً هو فشل الأجزاء المؤنثة في الأزهار في إختزال المحتوي الكروموسومي للبويضات أثناء الانقسام الأختزالي . وحينما يتم إخصاب هذه البويضات ثنائية العدد الكروموسومي بواسطة أمشاج مذكرة عادية (ن) فإن النسل يكون ثلاثي العدد الكروموسومي  $triploid$  (٣ن) . وحينما يتم إخصاب الأمشاج الاناث ثلاثية العدد الصبغي بواسطة أمشاج مذكرة عادية ينتج نسل رباعي العدد الصبغي (٤ن) . الخلية التي تحتوي على أي مضاعفات للعدد الأحادي من الكروموسومات أكبر من ٢ تسمى متضاعفة العدد الكروموسومي . والتضاعف الكروموسومي غالباً يوجد في العثائر النباتية الطبيعية . يوجد نوع من النجيليات في نيوزيلندة به ٣٨ ضعف العدد الأحادي



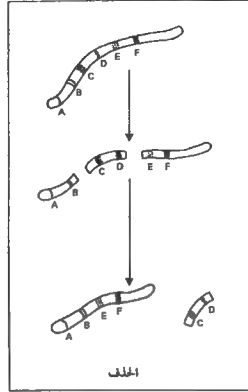
الشكل ١١-١١. خلية  
من خد امرأة بها ثلاثة  
كروموسومات X بدلا من  
الاثنين المألوفين يمكن  
مشاهدة اثنين من أجسام بار  
لأعلى.  
(بتصريح من الدكتور  
كورت هير شهورن).

من الكروموسومات (٣٨ حيث  $n = ٧$ ).

يمكن إحداث التضاعف الكروموسومي أيضا بمعالجة الخلايا المنقسمة بإداة الكولشيسين colchicine. تعمل هذه المادة على تعطيم الأنايب الدقيقة وبذلك تمنع تكوين المغزل. ويتج عن ذلك أن الكروموسومات المتضاعفة تفشل في الانفصال والتحرك نحو قطبي الخلية وقد وجد أن خلايا البصل التي تتعرض لتأثير الكولشيسين لعدة أيام تحتوي على أكثر من ألف كروموسوم بداخلها.

غالباً ما يصاحب التضاعف الكروموسومي في النباتات زيادة في الحجم والقوة. ولهذا السبب تمكن مربوا النباتات من إنتاج عدد من أصناف الأنواع الهامة إقتصادياً بها تضاعف كروموسومي مثل الذرة والبطيخ وبعض نباتات الزينة.

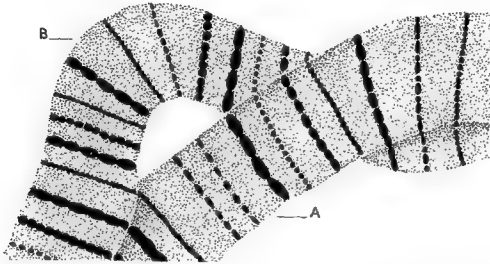
يبدو أن التغيرات التركيبية structural alterations في الكروموسومات تحدث عندما يلي كسر الكروموسوم فشل في إعادة ترتيب الأجزاء المكسورة. مثال ذلك عندما تفقد قطعة من الكروموسوم مما يسفر عن حدوث ما يسمى بالحذف deletion (الشكل ١١-١٢). عندما يبدأ كروموسوم فيه مثل هذا الحذف في الأزواج مع مثيله فإن الأجزاء المماثلة منها فقط تقترب من بعضها وتكون النتيجة هي ظهور التواء loop



الشكل ١١-١٢ . آلية الحذف.

في الكروموسوم العادي (الشكل ١١-١٣). وقد يبدو هذا الحذف على الطراز المظهري للكائن. فمثلاً يظهر تأثير جين متنحى موجود على الكروموسوم العادي إذا كان نظيره السائد يقع على القطعة المفقودة من الكروموسوم الذي حدث به الحذف. شكل من أشكال سرطان الدم في الإنسان يرتبط بوجود حذف في الكروموسوم رقم ٢٢ في خلايا الدم البيضاء. والقدرة على الربط بين صفة معينة وكروموسوم يمكن مشاهدته مجهرياً تقدم دليلاً قوياً على صحة النظرية الكروموسومية.

حدوث كسر في الكروموسومات قد يؤدي أيضاً إلى حدوث إنقلابات *inver-* sions و *translocations*. في الانقلاب تلف قطعة من الكروموسوم  $(ADCBE \leftarrow ABCDE)$  و نادراً ما يكون للانقلاب نتائج خطيرة على الطراز المظهري للكائن حيث أن كل الجينات مازالت موجودة. تنشأ الصعوبات عندما يبدأ كروموسوم فيه إنقلاب في الأزواج والعبور مع مثيله العادي أثناء الانقسام الاختزالي وبالتالي تنتج خلايا جنسية معينة قد تؤدي إلى العقم الجزئي أو إلى عيوب خطيرة في النسل. يسهل الكشف عن الانقلابات في الكروموسومات العملاقة مثل تلك الموجودة في غدد اللعاب



الشكل ١١-١٣. الازدواج بين كروموسوم فيه حذف (A) مع مثيلة العادي (B) الجزء المنحني في (B) يقابل الجزء المحذوف من A

بذباب الفاكهة حيث إكتشفت فيها لأول مرة. وقد أدى التقدم الحديث الى التعرف على إقلاقات في كروموسومات البشر كذلك.

أحيانا تنفصل قطعة من أحد الكروموسومات ثم تلتصق مع كروموسوم آخر ليس مماثلا له ويسمى ذلك بالانتقال translocation (الشكل ١١-٤) والكائنات التي يحدث بها الانتقال تكون لديها مشاكل خصوبة لأن نصف الأمشاج الناتجة من الانقسام الأختزالي أو أكثر سيكون بها حذف وقد لا تكون قادرة على إنجاب نسل حي. وتوجد الانتقالات الآن بصورة شائعة في كروموسومات الإنسان وخاصة من تكررت لديهم ولادة أطفال موق أو بهم عيوب خلقية.

امكن التعرف على عدد كبير من مسببات الكسر في الكروموسومات وهي تشمل أشعة X وأنواع أخرى من الأشعاع المؤين. والكسور الناتجة عن الأشعاع تكون عشوائية بالكامل أي أنه يمكن أن تحدث في أي جزء من الكروموسوم.

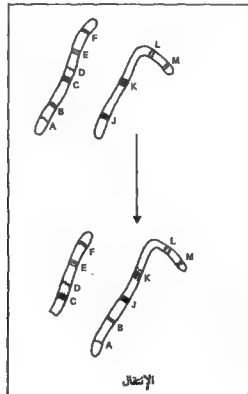
هناك مواد كيميائية عديدة تسبب كسر الكروموسومات وهي تشمل المواد المثبطة لتخليق حامض DNA ومضادات حيوية معينة. أغلب الكسور الناتجة عن مركبات كيميائية تحدث في أماكن محددة على الكروموسوم وغالبا عند القطعة المركزية أو الأجزاء

الضيفة الأخرى في الكروموسوم. ترتبط الكسور في الكروموسومات أيضا بالأصابة بالفيروسات وقد أشار البعض في هذا الصدد الى الحصبة والجديري والالتهاب السحائي الفيروسي viral meningitis.

## ١١-٥. الارتباط

## LINKAGE





أشرنا في بداية هذا الباب الى أن العدد الكبير من الجينات والعدد القليل نسبيا من الكروموسومات في الكائن يتطلبان أن كل زوج من الكروموسومات يحمل مواقع عديدة للجينات. وعندما تعرضنا لتوارث صفتين تتحكم فيهما جينات موجودة على نفس الكروموسوم تبين بوضوح أن قانون التوزيع المستقل لمندل لا يسرى مفعوله. وقد نتذكر من الباب السابق أن مندل قد توصل الى سلالات عديدة من الهجن متباينة اللاحقة في صفتين مختلفتين مثل شكل البذرة ولون الفلقات. عندما يتزاوج هجين ثنائي (Rr Yy) مع أحد الأباء متشابهة اللاحقة متنحى (تلقيح إختباري) لم يحتوي الجيل



الشكل ١١-١٤. آلية الإنصال.

الناتج على أفراد من شاكلة الآباء فقط (مستديرة - صفراء، مجمدة - خضراء) وإنما أيضا على أفراد بها تجمعات جديدة من الصفات هي مستديرة - خضراء و مجمدة - صفراء. هؤلاء الأفراد يسمون المستحدثة recombinants و كانت أعداد الأفراد من كل نوع من الأنواع الأربعة متساوية تقريبا. والآن نعرف أن هذا التوزيع المستقل للجينات حدث لأن مواقع الجينات المتحركة في هاتين الصفتين كانت على زوجين مختلفين من الكروموسومات. بسبب الترتيب العشوائي للكروموسومات الأبوية والأمية على جانبي خط الاستواء في الانقسام الاختزالي الأول نتج التوزيع العشوائي للجينات وترتب على ذلك أن صاغ مندل قانونه الثاني أوقانون التوزيع المستقل : توزيع زوج واحد من العوامل الوراثية يكون مستقلا عن توزيع الزوج الآخر.

وبعد إعادة إكتشاف دراسات مندل بوقت قصير إتضح أن قانونه الثاني لا يستطيع أن يفسر توارث العديد من الهجن الثنائية. ففي كثير من الحالات كان زوج الجينات المتضاد alleles الموروث من أحد الآباء يبدي ميلا قويا نحو الانعزال مع بعضها عند تكوين الأمشاج بينما يفعل زوج الجينات المتضادة الموروث من الأب الآخر بالمثل. تسمى هذه الظاهرة الارتباط linkage. دعنا نتعرض لأحد أمثلة الارتباط في الذرة. يمكن الحصول على صنف تكون حبوبه صفراء وممتلئة بنسيج تخزين المواد الغذائية المسمى إندوسبرم endosperm وهي سلالة نقية مما يعني أنها متشابهة اللاحقة في هاتين الصفتين. ويمكن الحصول كذلك على صنف نقي بالنسبة لبياض الحبوب وتجمدها لأن بها إندوسبرم منكمش. عند تعفير المياسم الحريرية للصنف الثاني (P) بحبوب لقاح من الصنف الأول (P) أو العكس تكون الحبوب الناتجة (الجيل الأول) جميعا صفراء وملساء وذلك يدل على أن الجينات الخاصة باللون (C) والنعومة (S) سائدة على تلك الخاصة بانعدام اللون (c) والاندوسبرم المجعد (s) (الشكل ١١-١٥). ثم يتم تهجين نباتات الجيل الأول مع الصنف متشابه اللاحقة المتنحي (cc ss) لكي نتوصل إلى نوع الأمشاج التي تنتجها نباتات الجيل الأول. طبقا للقانون الثاني لمندل ينبغي أن يكون توارث الجينات الخاصة باللون مستقلا تماما عن توارث الجينات المحددة لمظهر الأندوسبرم وعلى ذلك ينبغي للجيل الأول متباين اللاحقة أن ينتج الأمشاج الأتية

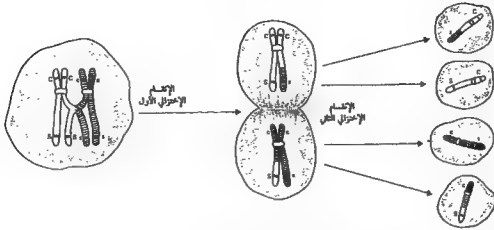
الطرز الوراثي لأمشاج الأب		الطرز الوراثي لأمشاج الأب متباين اللاحقة			
متشابه اللاحقة المتنحي		متباين اللاحقة المتنحي			
GENOTYPE OF ALL GAMETES FORMED BY ONE PARENT		GENOTYPES OF GAMETES FORMED BY HETEROZYGOUS (Ccs) PARENT			
		CS	cs	Cs	cS
					
الطرز المظهري		APPEARANCE (PHENOTYPE)	COLOR LESS, WRINKLED	COLOR-LESS, WRINKLED	COLOR-LESS, SMOOTH
في حالة التوزيع العشوائي		IF RANDOM ASSORTMENT	25%	25%	25%
النتائج الفعلية		ACTUAL RESULTS	49.3%	48.2%	1.8%

الشكل ١١-١٥. بيان الارتباط في الذرة. لأن موقع الجين الخاص بلون الحبوب يوجد على نفس الكروموسوم الذي يوجد عليه موقع الجين الخاص بملس الحبوب فإنه يتم توارث هذه الجينات معاً. لا تكون المستحدثات إلا عندما يحدث العبور الذي يفصل مواقع الجينات عن بعضها (أنظر الشكل ١١-١٦).

بأعداد متساوية تقريباً: (١) CS كما ورثها من أحد الأبء. (٢) CS كما ورثها عن الأب الآخر. (٣) Cs وهو مستحدث. (٤) CS وهو أيضاً مستحدث. أما جميع الأمشاج التي ينتجها متشابه اللاحقة المتنحي فتكون CS.

الاندماج العشوائي بين هذه الأمشاج ينبغي أن يسفر عن تكوين أربعة أنواع من الأفراد:

(١) ملونة لمساء كما في الصنف الأصلي (٢) عديمة اللون مجمدة كما في الصنف الأصلي الآخر (٣) ملونة مجمدة وهو صنف مستحدث و (٤) عديمة اللون لمساء وهو صنف مستحدث آخر. النتائج الفعلية التي توصل إليها هذا التهجين مبينة في الشكل ١١-١٥. يتضح بجلاء أن قانون التوزيع المستقل لندل لا يتحقق فهناك ميل قوي عند الجين الخاص باللون (C) أن يظل مصاحباً للجين الخاص بنعومة الملمس (S) وبالمثل بالنسبة للجين c الذي يبقى مصاحباً للجين s. وكما رأينا فإنه يمكن تفسير ذلك



الشكل ١١-١٦. رسم تخطيطي لإعادة تجميع الجينات المترابطة. كلما تقاربت المواقع على الكروموسوم كلما تضاءلت نسبة تكوين الأمشاج المستحدثة.

على أساس افتراض أن مواقع الجينات المتحكممة في لون الحبوب تكون على نفس الكروموسومات التي توجد بها مواقع الجينات المتحكممة في ملمس الحبوب. في الجيل الأول وعندما تنفصل الكروموسومات في الانقسام الاختزالي الأول يذهب الكروموسوم الأبوي (CS) إلى أحد القطبين ويذهب الكروموسوم الأمي (cs) إلى القطب الآخر (الشكل ١١-١٦).

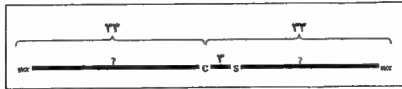
يبقى سؤال. إذا كانت مواقع الجينات الخاصة باللون والملمس على نفس الكروموسوم فكيف تفسر الأنواع المستحدثة من الأفراد (ونسبتهم ٦ ، ٣٪) والناجمة من التلقيح الاختباري؟ تبدو الأجابة واضحة عندما نتذكر ما يحدث بدقة في الطور التمهيدي للانقسام الاختزالي الأول. تتحد الكروموسومات المتماثلة المزدوجة أثناء الأزواج synapsis ويتبادل كروماتيد من كل زوج متماثل قطعة واحدة أو أكثر مع الكروماتيد الآخر أثناء عملية العبور. عملية العبور هذه هي التي تؤدي إلى تكوين هذه الأمشاج المستحدثة. في هذه الحالة كلما حدثت عملية عبور بين موقع الجين الخاص بلون الحبوب وموقع الجين الخاص بملمس الحبوب تنكسر التجمعات الجينية الأصلية (CS و cs) وينتج كروموسوم يحتوي على Cs وكروموسوم يحتوي على cs. لاحظ أيضا أن الكروماتيدين الآخرين لا يشتركان في عملية العبور. وبذلك يحتوي نصف الأمشاج الناجمة من الانقسام الاختزالي الثاني فقط على الطراز الجيني المستحدث (الشكل



١١-١٦). لذلك فإنه من أجل أن ينتج ٦, ٣٪ من الأمشاج المستحدثة لابد أن يحدث عبور بين مواقع الجينات بنسبة ٧, ٢٪ أثناء الانقسامات الاختزالية.

## ١١-٦. الخرائط الكروموسومية CHROMOSOME MAPS

تمت دراسة صفات مرتبطة أخرى في نباتات الذرة. في بعضها كانت نسبة الأمشاج المستحدثة والتي ينتجها الجيل الأول أقل من ٦, ٣٪ وفي البعض الآخر كانت النسبة أعلى من ذلك. ولو افترضنا للحظة أن مواقع الجينات كانت في ترتيب خطي من إحدى نهايتي الكروموسوم إلى النهاية الأخرى فيمكننا أن نستنتج أنه كلما زادت نسبة الأمشاج المستحدثة بالنسبة لأي زوج من الصفات كلما زادت المسافة الفاصلة بين موقعيهما. والعكس صحيح كذلك. وعلى أساس هذه المعلومات يمكن للمرء أن يرسم خريطة تبين مواقع كل ما يمكن إكتشافه من الجينات على أي كروموسوم. فمثلاً رأينا أن حوالي ٣٪ من الأمشاج المستحدثة تنتج من العبور بين موقعي الجينين S و C. يمكن الحصول على هجين ثنائي لزوج آخر من الصفات المرتبطة ولكن لون الحبوب (C) والأندوسبرم الشمعي (wx). هذا الهجين الثنائي يعطي ٣٣٪ أمشاج مستحدثة مما يوحي بأن الموقعين C و wx أكثر تباعداً من الموقعين C و S. وما زلنا لانعلم إن كان الموقع wx على نفس الجانب من C مع S أو على الجانب الآخر (الشكل ١١-١٧). ويمكن التوصل إلى إجابة على ذلك بالحصول على هجين ثنائي للصفتين S و wx فإذا كانت نسبة الأمشاج المستحدثة الناتجة من هذا الفرد أقل من ٣٣ فإن الموقع wx لابد أن يكون على نفس الجانب من الموقع C الذي يوجد فيه الموقع S. والعكس صحيح إذا تبين أن نسبة الأمشاج المستحدثة كانت أكبر من ٣٣٪. في الواقع كان عدد الأمشاج المستحدثة ٣٠٪ وعلى ذلك يكون تتابع مواقع الجينات على هذا الكروموسوم هو



الشكل ١١-١٧. رسم خريطة ارتباط. إنتاج ٣٠٪ من الأمشاج المستحدثة كتنجيه للتهجين بين S و wx يوحي بأن الموقع wx يوجد على نفس الجانب من الموقع C الذي يوجد به الموقع S.

C-S-wx. أضف الى ذلك أن مجموع النسب المثوية للأمشاج المستحدثة بين C و S وبين S و wx يكاد يكون مساويا للنسبة المثوية بين C و wx وهذا يعطي تدعيم كبير لفكرة وجود مواقع الجينات في ترتيب خطى على طول الكروموسوم (الشكل ١١-١٧). الخط المستقيم هو الترتيب الهندسي الوحيد الذي يمكن أن توجد عليه هذه العلاقة العددية البسيطة.

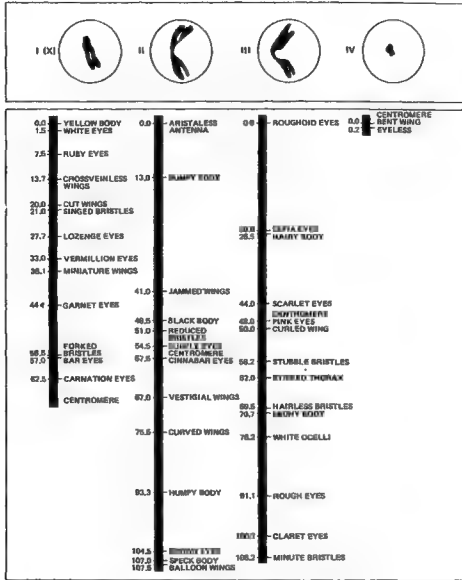
مع مواصلة السعي بهذه الطريقة مع أكبر عدد ممكن من الجينات المرتبطة على نفس الكروموسوم يمكن رسم خرائط كروموسومية. هذه الخرائط تبين تتابع مواقع الجينات كما تبين التباعد النسبي بينهم وقد أنتجت مثل تلك الخرائط لكروموسومات ذبابة الفاكهة (الشكل ١١-١٨) والذرة (الشكل ١١-١٩) وبعض البكتريا والفار ودودة الحرير والطماطم والكلاميدوموناس والكروموسوم X في الإنسان.

وكما تمكن علماء الوراثة من إثبات وجود الارتباط بين جينات معينة وعدم وجوده بين جينات أخرى فقد تمكنوا من نسبة كل جين الى مجموعة ارتباطية linkage group. كل الجينات في مجموعة ما يكون بينها ارتباط ولا يكون بينها وبين الجينات في المجموعات الأخرى أي ارتباط. الشيء المثير في هذا المجال هو أن عدد المجموعات الارتباطية في الكائن يكون مساويا لعدد أزواج الكروموسومات في هذا الكائن. وعلى ذلك فإن ذبابة الفاكهة بها لها من ٤ أزواج من الكروموسومات يكون بها أربع مجموعات ارتباطية. وفي نبات الذرة يوجد عشرة أزواج من الكروموسومات وجميع الجينات فيه لابد أن تنسب الى واحدة من عشر مجموعات ارتباطية. وبالمثل في فطر نيوروسبورا وفي نبات الطماطم (الذين درسها علماء الوراثة باستفاضة) يكون عدد المجموعات الارتباطية مساويا لعدد أزواج الكروموسومات وهو ٧ في نيوروسبورا و ١٢ في الطماطم. هذا إذن دليل إضافي على أن جينات الكائن تقع في أو على كروموسومات.

### ١١-٧. دليل كريتون ومكلنتوك

#### THE EVIDENCE OF CREIGHTON AND McCLINTOCK

واحد من أكثر الأدلة على صحة النظرية الكروموسومية رشاقة جاء في عام ١٩٣٢ من دراسات عالمي الوراثة هاريت كريتون وباربرا مكلنتوك. ففي خلال دراستها على الارتباط في الذرة توصلتا الى سلالة بها كروموسوم واحد (من بين عشرة أزواج) فيه



الشكل ١١-١٨. خرائط لكروموسومات ذبابة الفاكهة. عدد قليل فقط من مواقع الجينات المعروفة هو المبين.

خاصيتان غير مألوفتين: عقدة عند أحد طرفي الكروموسوم وقطعة زائدة عند الطرف الآخر. هذه القطعة الزائدة من الكروموسوم نتجت عن انتقال حدث في جيل سابق. على الفور لاحظت الباحثان أهمية وفائدة هذا الاكتشاف. فهنا يوجد كائن به زوج من الكروموسومات المتماثلة غير العادي يحمل الجين السائد للون الحبوب (S) والجين المتنحي للأندوسبرم الشمعي (wx) أما مثيله ذو المظهر العادي فيحمل الجين المتنحي

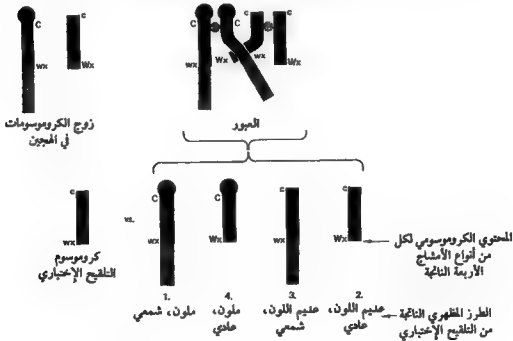
المجموعة الإرتباطية التسمة	0	-DOTTED
	7	-YELLOW-GREEN SEEDLINGS
	26	-C-KERNEL COLOR
	29	-S-SHRUNKEN ENDOSPERM
	31	-BRONZE COLOR
	44	-BROWN PERICARP
	56	-wx-WAXY ENDOSPERM
	66	-PALE GREEN COLOR
	71	-CHLOROPHYLL-DEFICIENT SEEDLINGS
	74	-BRITTLE STALK
	108	-WHITE ENDOSPERM CAP

الشكل ١١-١٩.  
خريطة الارتباط لأحد  
الكروموسومات الموجودة  
في نبات اللرة *Zea mays*.

لأنعدام اللون في الحبوب (s) والجين السائد للأندوسبرم العادي (النشوي) أي (Wx) وعلى ذلك يكون النبات هجين ثنائي في هاتين الصفتين المرتبطتين كما أن أحد كروموسومات الزوج المتماثل يحمل علامة مميزة ومترية عند طرف من طرفية. وقد فكرت كريتون ومكلنتوك في أن هذا النبات ينبغي أن ينتج أربعة أنواع من الأمشاج: النوعان الأبويان (CWx و cWx) ونوعان مستحدثان (CWx و cwX) بواسطة العبور. تلقیح مثل هذه الأمشاج بواسطة أمشاج تحتوي على كروموسوم عادي المظهر وبه الجينان المتنحيان (تلقیح إختياري نموذجي) ينبغي أن ينتج أربعة أنواع من الحبوب: (١) ملونة شمعي (Cc Wx wx) و (٢) حبوب عديمة اللون وإنلوسبرم عادي (cc Wx wx) والنوعين المستحدثين (٣) عديمة اللون شمعي (cc wx wx) و (٤) حبوب ملونة وإنلوسبرم عادي (Cc Wx wx). أضف الى ذلك أن ذلك الفحص المجهرى للنباتات الناتجة من هذه الأنواع الأربعة ينبغي أن يكشف عن وجود الأنواع الأتية من الكروموسومات. في

الحالة الأولى يجب أن يوجد الكروموسوم العادي والكروموسوم زائد الطول ويحمل عقدة عند أحد طرفيه. في الحالة الثانية يجب أن يكون لكلا الكروموسومين مظهر عادي أما في الحالة الثالثة حيث حدث العبور فإن المرء يأمل في الحصول على دليل يثبت حدوث تبادل فعل للأجزاء بين الكروموسومات المتماثلة في الأب المحجين الثاني فإذا أن يوجد كروموسوم طوله عادي ولكن به عقدة عند أحد طرفيه أو يوجد كروموسوم زائد الطول وليس به عقدة. وقد وجدت كريتون ومكلنتوك بالفعل النوع الأخير مما يشير إلى أن موقع الجين  $wx$  كان مصاحبا لنهاية الكروموسوم ذو القطعة الزائدة وبالتالي فهو قريب منها. أما موقع الجين الخاص بلون الحبوب فلا بد أنه أقرب إلى النهاية ذات العقدة. وقد كشف فحص النباتات من المجموعة الرابعة (حبوب ملونة وأندوسبرم عادي -  $Wx - C$ ) عن وجود كروموسوم عادي الطول ولكن به عقدة عند إحدى نهايتيه (الشكل ١١-٢٠).

وعلى ذلك يتضح أن سلوك الجينات كما تكشف عنه دراسة الطرز المظهرية مرتبطة مباشرة بسلوك الكروموسومات كما يكشف عنه الفحص المجهرى. والآن يتبين أن إعادة تجمع الجينات يحدث في نفس الوقت الذي تتبادل فيه الكروموسومات المتماثلة



الشكل ١١-٢٠. العلاقة بين العبور الخلوي وإعادة التجميع الوراثي في اللوزة.

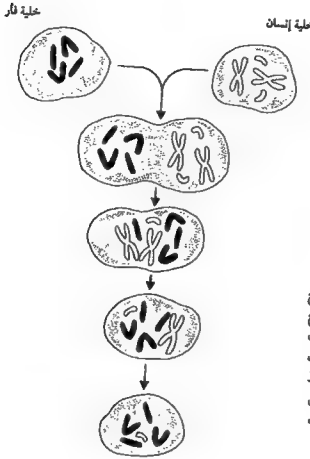
بعض أجزائها. وهذا توضيح مقنع للغاية بالنظرية الكروموسومية. فالوحدات المحددة لتوارث الصفات (الجينات) التي كان مندل أول من إفترض وجودها موجودة بالفعل على تلك الأجسام المرئية (الكروموسومات).

### ٨-١١. نسبة المجموعات الارتباطية الى كروموسومات

#### ASSIGNING LINKAGE GROUPS TO CHROMOSOMES

إذا استطاع باحث أن يتعرف على مجموعة إرتباطية ونسب أحد الجينات فيها الى زوج معين من الكروموسومات المتأثلة فانه يحصل فوراً على قائمة بالصفات التي تتحكم فيها هذه الكروموسومات. المواد التي كانت تعمل بها كريتون ومكلنتوك مكتبتها من نسبة جميع الجينات المعروفة في المجموعة الارتباطية التاسعة (linkage group IX) الى زوج واحد من الأزواج المتأثلة العشرة في نبات الذرة (الشكل ١١-١٩). لقد تمكنتا من ذلك لأنهما استطاعتا نسبة جين معين الى كروموسوم معين يمكن تمييزه بالنظر عن بقية الكروموسومات (بما في ذلك مثيله). وقد اعتمد نجاحهما على إكتشاف كروموسوم شاذ والقدرة على تهجين النبات الذي يحتوي عليه حسب رغبتهما. وقد تم حديثاً إكتشاف إرتباطات قليلة بين توارث كروموسوم يمكن تمييزه بالنظر (وبالتالي يكون شاذاً) وتوارث صفة معينة في الإنسان. وقد أثبتت طرق أخرى جدواها في نسبة جينات معروفة الى كروموسومات معينة. إحدى هذه الطرق بدأت في إعطاء معلومات مفيدة تعتمد على تهجين الخلايا الجسدية.

الخلايا البشرية النامية في مزارع أنسجة يمكن دفعها الى الاندماج مع خلايا حيوانات أخرى مثل الفأر. في البداية تحتوي هذه الخلايا المهجين على مجموعة كاملة من كروموسومات الإنسان وكروموسومات الفأر. ومع ذلك فعند إستمرار عملية الانقسام غير المباشر يفقد العديد من الكروموسومات البشرية (الشكل ١١-٢١). وإلآن فإن للخلايا البشرية عدداً من الصفات الكيميائية (مثل وجود إنزيمات معينة) لا تشاركها فيها خلايا الفأر. فإذا فقد إنزيم معين في جماعة من الخلايا المهجين كلما فقد كروموسوم بشرى فانه يمكننا أن نستنتج من ذلك أن الجين الذي يتحكم في تخليق هذا الأنزيم موجود على هذا الكروموسوم. فمثلاً الخلايا المهجين من بشر وفأر والمنتجة لأنزيم بشرى



الشكل ١١-٢١. نتائج  
تجريب خلايا جسمية بعد اندماج  
خلية ناز مع خلية إنسان يحدث  
فقد تدريجي للكروموسومات  
البشرية وذلك يؤدي إلى الربط  
بين وجود أو غياب وظيفة جين  
بشري معين ووجود أو غياب  
كروموسوم بشري معين.

معين هو الببتيداز peptidase تحتفظ دائماً بالكروموسوم البشري رقم ١ وبالعكس فإن الخلايا المهجنة من بشر وفأر والتي ينقصها الكروموسوم البشري رقم ١ لا تنتج إنزيم الببتيداز. وقد أمكن إثبات أن حوالي تسعة جينات بشرية أخرى (بما فيها تلك التي تحدد عامل الدم Rh) تكون مترابطة مع جين الببتيداز وذلك من خلال دراسة بعض العائلات. وبالتالي نستنتج أن كل هذه الجينات موجودة على الكروموسوم رقم ١. وفي الشكل ١١-٢٢ توجد قائمة جزئية حديثة بتوزيع الجينات على الكروموسومات في البشر. وإلى أن نقرأ هذه القائمة ربما يكون طولها قد زاد كثيراً.

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

ترتب الجينات في الكائن في نظام خطي على كروموسومات. يحمل زوج الكروموسومات المتماثلة نفس الجينات (أو النسخ المضادة لهذه الجينات) بنفس النظام.

الكروموسوم	الجينات	الشكل ١١-٢٢. تحديد مواقع قلة من الجينيات البشرية. في الواقع يمكن تحديد موقع جين واحد على الأقل على كل من الكروموسومات الذاتية الانثيين والعشرين في الانسان. بمجرد تحديد موقع أحد أفراد مجموعة ارتباطية على أحد الكروموسومات فإن كل أفراد نفس المجموعة الارتباطية تقع على نفس الكروموسوم. باستثناء الجينيات المرتبطة مع الكروموسوم X فإن أغلب الجينيات في هذا الجدول قد أمكن نسبتها الى كروموسومات من خلال تحليل هجين الخلايا الجسدية.
1	Rh factor, salivary and pancreatic amylase, 5S rRNA	
6	Transplantation antigens (HLA), prolactin, pepsinogen	
7	Histones	
9	ABO blood groups, interferon	
11	$\beta$ chain of hemoglobin, insulin	
12	3-phosphoglycerdehyde dehydrogenase, peptidase B	
14	Heavy chains of antibodies	
15	Isocitrate dehydrogenase (mitochondrial)	
16	$\alpha$ chain of hemoglobin	
17	Collagen, growth hormone (GH)	
18	Peptidase A	
19	Glucose phosphate isomerase	
22	Beta-galactosidase	
X	Clotting factor VIII [absence produces hemophilia], over 100 others	

المكان الذي يوجد فيه جين معين على الكروموسوم يسمى الموقع .

يتبع توارث الجينيات التي توجد على الكروموسومات الجنسية قواعد خاصة . في أحد الأمثلة الشائعة والمبسطة بالتوارث المرتبط مع X يتم التعبير عن الجينيات المتنحية على الكروموسوم X في الطراز المظهري للذكور لأنه لا توجد المواقع المقابلة لها على الكروموسوم Y والتي يمكن أن تحمل الجينيات السائدة عليها .

أثناء العبور في الانقسام الاختزالي تتبادل الكروموسومات المتماثلة قطعاً منها . هذا التبادل عادة ما يكون من الطرفين بحيث تظل الكروموسومات المستحدثة محتفظة بنفس الجينيات وفي نفس الترتيب . ومع ذلك فإن الجينيات الموجودة على هذه الكروموسومات المستحدثة تمثل تشكيلة من الجينيات الأبوية والأمية .

كلما زاد قرب موقعين من بعضهما البعض كلما قلت فرصة انفصالهما عن بعضهما أثناء العبور، وعلى ذلك تمثل الصفات التي يتحكمان فيها الى التوارث معا أي يكون بينهما



إرتباط وبتحديد معامل إعادة التجمع بين المواقع المنفصلة يمكن رسم خريطة توضح الترتيب والتباعد النسبي بينها.

أحيانا يكون سلوك الكروموسومات أثناء الانقسام الاختزالي و / أو غير المباشر شاذاً بحيث تنشأ شواذ في تركيب أو أعداد الكروموسومات و غالباً ما تؤثر هذه الشواذ الكروموسومية على الطراز المظهري .

أدت طريقة تهجين الخلايا الجسدية الى إمكانية تحديد مكان وجود العديد من مواقع الجينات على كل من الكروموسومات الذاتية الأثنين والعشرين في الإنسان .

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

١ - في الإنسان البصر السليم صفة مرتبطة بالكروموسوم X و الجين الخاص بها سائد على الجين الخاص بعمى اللونين الأحمر والأخضر. اذا تزوجت امرأة بها عمى الوان من رجل سليم البصر فما هو التوزيع المتوقع لسلامة البصر في : (أ) أبنائهما - (ب) بناتها.

٢ - كم عدد أزواج الكروموسومات المتماثلة في الرجال؟

٣ - لخص التوازي في سلوك الجينات كما وصفه مندل وسلوك الكروموسومات أثناء الانقسام الاختزالي والأخصاب.

٤ - قد يؤدي عدم نجاح الانفصال الى تكوين زيجوت به XXYY. ما هو جنس ذبابة الفاكهة التي تنشأ منه؟ وما هو جنس الإنسان الذي ينشأ منه؟

٥ - عندما يتم تهجين نبات طماطم طويل ثماره حمراء مع نبات طماطم قزم ثماره صفراء فإن كل أفراد الجيل الأول تكون طويلة - حمراء وعند التزاوج فيما بينها لا يظهر الا الطرازين المظهرين الأبوين في الجيل الثاني. ماذا تستنتج عن التحكم الوراثي لهاتين الصفتين؟

٦ - عرف الجين.

٧ - على الرغم من أن نبات البسلة به سبعة أزواج من الكروموسومات إلا أن الدراسات الحديثة أوضحت أن ثلاثاً من الصفات السبع التي درسها مندل كانت فعلاً على نفس الكروموسوم. كيف تعلق حدوث التوزيع المستقل في هذه الجينات؟

- ٨ - لسبب ما (غير مفهوم حتى الآن) تتكون أجنه أطفال ذكور أكثر مما تتكون أجنه أطفال إناث وعند مرحلة الطفولة يكون عدد الأولاد مساو لعدد البنات . هل يمكنك إقتراح سبب محتمل لتفسير نسبة الوفيات الأعلى (قبل وبعد الولادة) في المواليد الذكور؟
- ٩ - عند إجراء التلقيح الاختباري لكل من الهجن الثنائية الآتية أعطى النسبة المينية أماعة من الأمشاج المستحدثة :

Aa	Bb	31 %	Aa	Xx	36 %
Xx	Yy	22 %	Aa	Yy	14 %
Xx	Bb	5 %			

من هذه البيانات حدد التابع الخطى والتباعد النسبي لكل موقع جين على الكروموسوم .

- ١٠ - تنبأ بالجنس في بشر لهم التراكيب الكروموسومية الآتية (و جميعهم شوهذوا) :  
 XXXY و XXXY و XXXY و XXXY و XXXY و XXXY و XXXY و XXXY و XXXY و XXXY
- ١١ - كم عدد أجسام بار التي تتوقع أن تجدها في كل من الأفراد في المسألة السابقة؟

## REFERENCES

## المراجع

1. BERAN, A. G. and J.L. GERMAN III, "Chromosomes and Disease," Scientific American, Offprint No. 150 November, 1961. Describes the mechanisms by which certain chromosome abnormalities arise and the diseases that may result.
2. GABRIEL, M.L., and S. FOGEL, eds., Great Experiments in Biology, Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, N.J. This paperback contains several original papers on the chromosome theory, including the report by Harriet Crieghton and Barbara McClintock of their experiments.
3. MITTWOCH, URSULA, "Sex Differences in Cells" Scientific American, Offprint No. 161, 1963. Discusses the significances of the sex chromosomes and Barr bodies with normal and abnormal conditions.
4. MCKUSICK, V. A. "The Mapping of Human Chromosomes," Scientific American Offprint No. 1220, April, 1971.
5. RUDDLE, F.H. and R.S. KUTCHERLAPATI, "Hybrid Cells and Human Genes," Scientific American, Offprint No. 1300, July, 1974. How somatic cell hybridization enables linkage groups to be assigned to specific chromosomes.



## CHAPTER 12

## الباب الثاني عشر

### الطبيعة الكيميائية للجينات

### THE CHEMICAL NATURE OF GENES

DNA: THE SUBSTANCE OF GENES	١-١٢	الحامض DNA: مادة الجينات
THE EXPERIMENTS OF GRIFFITH AND AVERY		تجارب جريفت و أفري
THE VIRUS EXPERIMENTS OF HERSHEY AND CHASE		تجارب هرشي وتشاس على الفيروسات
THE WATSON - CRICK MODEL OF DNA	٢-١٢	نموذج واتسون وكريك للحامض DNA
DNA REPLICATION	٣-١٢	تضاعف الحامض DNA
TESTS OF THE WATSON-CRICK MODEL		أختبارات نموذج واتسون وكريك
DETAILS OF THE MODEL		تفاصيل النموذج
DNA REPAIR		إصلاح الحامض DNA
LEFT - HANDED DNA	٤-١٢	حامض DNA الأيسر
MUTATIONS	٥-١٢	الطفرات
MUTAGENIC AGENTS: RADIATION		مسيبات الطفرة : الأشعاع
MUTAGENIC AGENTS: CHEMICALS		مسيبات الطفرة : المواد الكيميائية

**CHAPTER SUMMARY**

**EXERCISES AND PROBLEMS**

**REFERENCES**

ملخص الباب

تمارين ومسائل

المراجع

## الباب الثاني عشر

### الطبيعة الكيميائية للجينات

نشأت فكرة الجينات (و ان لم تكن بذلك الاسم) على يدي مندل في محاولة لشرح بعض قواعد الوراثة. ولم يحاول مندل تصور الجين كتركيب محدد في مكان محدد وله طبيعة كيميائية محددة وطريقة عمل محددة. ومع ذلك فبمجرد أن تأكد وجود الجينات على الكروموسومات فقد بدا من الممكن القيام بهذه المحاولة. فالكروموسومات تراكيب ماثية في مكان محدد ومن الممكن عزلهم من الخلية ودراسة تركيبهم الكيميائي.

#### ١-١٢. الحامض RNA: مادة الجينات

#### DNA : THE SUBSTANCE OF GENES

تركب الكروموسومات في الكائنات حقيقية النواة من بروتينات نووية أي أنها تتكون من أحماض نووية وبروتينات. الحامض النووي الرئيسي هو DNA على الرغم من وجود كميات قليلة من الحامض RNA كذلك. أما البروتينات فهي خمسة أنواع قاعدية قوية من بروتينات تسمى الهستونات histones و كمية مكافئة تقريبا من خليط غير متجانس من بروتينات لاهستونية nonhistones. فإذا كانت الكروموسومات تحتوي على الجينات فهل تكون المعلومات الوراثية مخزنة في البروتينات أو الأحماض النووية أو في كليهما معا؟ في عام ١٩٢٨ قام عالم البكتيريا الإنجليزي فريد جريفيث باكتشاف حينما تمت متابعته على مدى الأعوام الثلاثين التالية كشف أخيرا عن الأجابة.

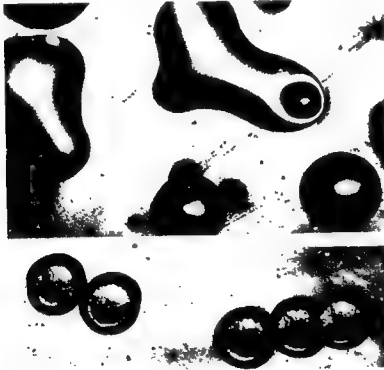
#### THE EXPERIMENTS OF GRIFFITH AND AVERY

#### تجارب جريفيث و أفري

استخدم جريفيث نوعا من البكتيريا يسبب الالتهاب الرئوي البكتيري وكان مرضا

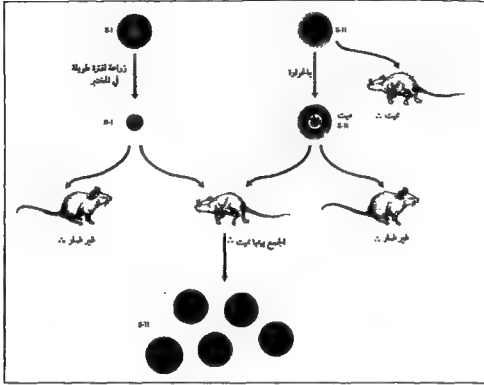
شائعا وخطيرا قبل اكتشاف المضادات الحيوية . من أهم خصائص هذه البكتيريا وجود حويصلة صمغية مكونة من مركب عديد السكر حول كل خلية . عندما تربي هذه البكتيريا فإن هذه الحويصلة تكسب المستعمرات مظهرا لامعا أملسا (الشكل ١٢-١) ولهذا السبب يطلق على الخلايا أسم خلايا "S cells". ومع ذلك عندما تطول زراعة هذه البكتيريا خارج العائل الحي فان بعض الخلايا تفقد القدرة على تكوين الحويصلة ويبدو سطح المستعمرات مجعد ونحشن rough ويرمز لها بالحرف "R" ومع فقد القدرة على تكوين الحويصلة يفقد الكائن قدرته على إحداث المرض أي أن الخلايا R لا تسبب المرض .

الأسم العلمي لهذه البكتيريا هو نيوموكوكساي *Pneumococci* ويوجد منها عدة أنواع هي او ١ او ١١ او ١٢ الخ . وكل نوع ينتج النوع الخاص به من الكبسولة عديدة



الشكل ١٢-١ . البكتيريا نيوموكوكساي نامية في مستعمرات على سطح وسط غذائي .  
أعلى : وجود حويصلة حول الخلايا البكتيرية يكسب المستعمرات مظهر لامع وأملس (S)  
أسفل : البكتيريا بدون الحويصلات أنتج هذه المستعمرات الخشنة (R) مظهر الخلايا البكتيرية المتحوصلة وغير المتحوصلة يمكن مشاهدته في الشكل ٢٤-٦ . (الصور من بحوث الدكتور هاريت افروسي - تابلور - بتصريح من جامعة روكفيلر).





١٢-٢. تجربة جريفيث. شيء ما في الخلايا S-II المقتولة حول الخلايا R-I إلى خلايا S-II. هذا التغير الوراثي يسمى التحول. وقد ثبت في النهاية أن الحامض DNA هو المسئول عن هذا التحول.

التسكر التي يمكن تمييزها عما تنتجه الأنواع الأخرى. وعلى خلاف التحول أحيانا من S إلى R فإن نوع الكائن يكون ثابت. وحينما تحقن الفئران ببضع خلايا S من أحد الأنواع وليكن النوع II فإن أجسامهم تستشري فيها الخلايا المنحدرة من نفس النوع. فيما يخص النوع اذن نجد الاستمرارية في الصفات من جيل إلى جيل تماما كما وجدنا في الخميرة.

وكما ذكرنا سابقا فإن الحقن بخلايا R يكون عادة غير ضار وكذلك يكون الحقن بخلايا S إذا كانت قد قتلت مسبقا (بتعرضها لدرجة حرارة عالية مثلا). وعلى غير المتوقع فقد وجد جريفيث أن حقن الفئران بخلايا R حية وخلايا مقتولة معا فإن الفئران تمرض ويمكن استعادة خلايا S حية من أجسامهم. وعندما تعمق جريفيث في تتبع هذه الظاهرة الغريبة اكتشف أن نوع الخلايا S التي استعادها من الفئران يحدده نوع الخلايا S الميتة التي استعملها وليس نوع السلالة التي أخذ منها الخلايا R. بعبارة

أخرى عند حقن فأر بخلايا R حية من النوع I وخلايا S ميتة من النوع II فإن الخلايا الحية التي استعادها من جسم الفأر المريض كانت خلايا S من النوع II (الشكل ١٢-٢). أكثر من ذلك كان التغير من خلايا R-I إلى خلايا S-II ثابت ووراثي . الخلايا S-II يمكن زراعتها إلى ما لا نهاية وتظل محافظة على نوعها . من الواضح أن شيئاً ما في الخلايا S-I الميتة قد حول الخلايا R-I الحية إلى خلايا S-II وأن هذا الشيء كان ينتقل من جيل إلى جيل .

خلال سنوات قليلة كان هذا التحول transformation كما كان يسمى قد تم أجرأه في أنابيب الاختبار . فقد تحولت نسبة ضئيلة من خلايا R-I نامية على حساء في أنبوبة اختبار ومضافا إليها خلايا S-II ميتة إلى خلايا S-II . وفيما بعد استعمل بنجاح مستخلص الخلايا S-I في تحويل خلايا R-I إلى خلايا S-II في أنبوبة الاختبار

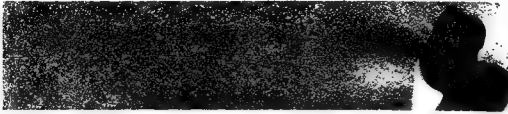
كما تتوقع فإن هذا المستخلص الخلوي كان يحتوي على العديد من المكونات بما في ذلك عديدات التسكر والبروتينات والليبيدات و الحامضين النوويين DNA و RNA . وبواسطة التحطيم الانتخابي لهذه المكونات واحدا بعد الآخر واختبار النشاط التحويلي للمواد المتبقية فقد أستطاع الدكتور أو. ت. أفري ومساعدوه في عام ١٩٤٣ إثبات أن العامل الفعال في التحويل هو الحامض DNA (الشكل ١٢-٣) . وقد حوّل الحامض DNA المستخلص من خلايا S-II بعد تنقيته الخلايا R-II إلى خلايا S-II . هذا إذن جزئي يغير وظائف الخلية التي يدخل إليها وفي هذه الحالة جعلها تنتج النوع II من الحويصلات بدلا من النوع I .

هذا الجزئي كان يضاعف نفسه self-duplicating أيضا حيث أمكن أستخلاص كميات من الحامض DNA ذو النشاط التحويلي من نسل الخلايا المتحولة أكبر بكثير من الكمية المستعملة أصلا لأحداث التحول .

تجارب هرشي وتشيس على الفيروسات

THE VIRUS EXPERIMENTS OF HERSHEY AND CHASE

في عام ١٩٥٢ قام عالما الوراثة ا. د. هرشي ومارثا تشيس بسلسلة من التجارب على الفيروسات التي أدت إلى المزيد من الأدلة على أن الحامض DNA هو المادة

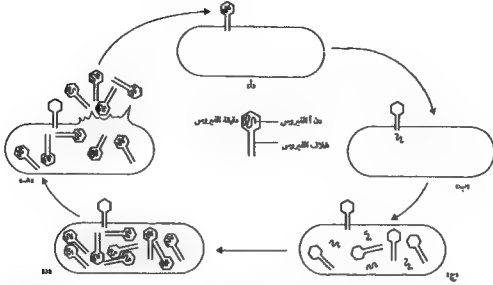


الشكل ١٢-٣. صورة بالمجهر الأليكتروني لجزء الحامض DNA أثناء دخوله الى خلية نيوموكوكاس (الشيء الكبير الى اليمين). هذا الجزء من الحامض DNA (الخط الطويل الرفيع) يبلغ طوله حوالي ٧ ميكرون وهو طويل يكفي لاحتواء ١٢ جين. عملية التحول تحدث بعد دخول الجزيء الى الخلية البكتيرية. (٣٨٠٠٠ مرة - بتصريح من الدكتور الكسندر توماس).

الأساسية للوراثة. تشبه الفيروسات الكروموسومات الصغيرة من عدة نواحي. فهي أيضا تكون من بروتينات نووية و عندما تدخل خلية العائل تبدأ هذه الخلايا في مضاعفة أعداد دقائق الفيروس كما لو كانت جينات أجنبية غازية قد سيطرت على نظام التحكم الوراثي للعادي للخلية.

قد تصاب البكتيريا بفيروسات تسمى البكتيريوفاج bacteriophages (أكلة البكتيريا) وقد لوحظت عملية الدخول تحت المجهر الأليكتروني ولا يدخل الى الخلية الا الجزء الداخلي فقط من الدقيقة الفيروسية (الشكل ١٢-٤). أما الجزء الخارجي أو غلاف الفيروس فيعمل على حقن الجزء المسبب للعدوى. وعلى أي حال فإن الجزء المحقون يحتوي على المعلومات اللازمة لتكوين فيروسات جديدة. ويسيطر الجزء المحقون على آليات الأيض في خلية العائل ويوجهها نحو تصنيع كل الوحدات اللازمة لتجميع العديد من الدقائق الفيروسية الجديدة وهذه تتحرر عندما تنفجر الخلية (الشكل ١٢-٤).

البكتيريوفاج الناتج داخل خلايا بكتيرية نامية على وسط غذائي مشع يكون هو أيضا مشع. فإذا كانت ذرات كبريت مشع موجودة في هذا الوسط فانها ستدخل في تركيب الغلاف البروتيني للبكتيريوفاج حيث أن اثنين من الأحماض الأمينية العشرين الموجودة في البروتينات تحتوي على ذرات كبريت ولن تصبح جزءا من الحامض DNA الخاص بالبكتيريوفاج لأنه لا يحتوي على ذرات كبريت. من ناحية أخرى فان ذرات الفوسفور المشع تدخل فقط في تركيب الحامض DNA لأنه وحده الذي يحتوي على ذرات فوسفور. عندما يسمح لبكتيريوفاج يحتوي على ذرات فوسفور مشعة بغزو بكتيريا غير مشعة فان



الشكل ١٢-٤ . دورة العدوى في الخلايا البكتيرية بالبكتيريوفاج . بعد أن يلتحق الفيروس بخلية سليمة (أ) يحقنها بمحتوياته من الحامض DNA- (ب) تنتج جزيئات جديدة من الحامض DNA الفيروس وكذلك أغلفة بروتينية فيروسية جديدة (ج) من هذه تتجمع وحدات بكتيريوفاج قادرة على العدوى (د) وهي تتحرر عندما تنفجر الخلية البكتيرية (هـ)

جميع الخلايا البكتيرية تصبح مشعة ومعظم هذا النشاط الإشعاعي ينتقل الى الجيل التالي من البكتيريوفاج . وعندما تصاب البكتيريا بفيروسات تحتوي على ذرات كربت مشعة ثم يتم استبعاد الأغلفة الفيروسية (بالالتفاف السريع في خلاط كهربائي) فانه لا يمكن الكشف عن أي نشاط اشعاعي في الخلايا فقد احتفظت به الأغلفة الفيروسية .

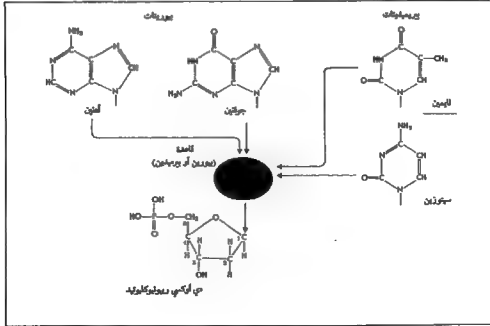
نستنتج من هذه التجارب أن جزء الحامض DNA من البكتيريوفاج هو الذي يتم حقنه في الخلايا البكتيرية أما الجزء البروتيني فيبقى خارجها والحامض DNA قادر برغم ذلك على توجيه عملية تكوين الدقائق الفيروسية الجديدة كاملة بها لها من أغلفة بروتينية . من الواضح أن الحامض DNA هو المادة الوراثية الأساسية أي مادة الجينات . وعلى ذلك يكون لزاما علينا أن نسأل : ما هي الخصائص التي تجعل الحامض DNA قادرا على :

- (١) السيطرة على تخليق النوع ١١ من عديدات التسكر أو الغلاف البروتيني للفيروس .
- (٢) مضاعفة نفسه من جيل إلى جيل ؟ تم التوصل أولا إلى اجابة الجزء الثاني من السؤال .

## ١٢-٢. نموذج واتسون وكريك لحامض DNA

## THE WATSON-CRICK MODEL OF DNA

عندما حدث اكتشاف أفري كان الحامض DNA آخر ما يخطر على البال كمستودع للمعلومات الوراثية. دعنا نستعرض ما كان معروفاً عن هذا الجزيء. كما عرفنا في الباب الرابع فإن الحامض DNA عبارة عن جزيء كبير وبوليمر. والتميوه الخفيف ينتج وحداته وهي النيوكليوتيدات nucleotides وعلى حين تتركب البروتينات من ٢٠ نوع من الأحماض الأمينية لا يوجد إلا أربعة أنواع من النيوكليوتيدات في الحامض DNA. كل نيوكليوتيدة بها سكر خماسي الكربون (أي بنتوز pentose هو الذي أوكسى ريبوز deoxyribose. تتصل بمجموعة فوسفات وخيدة بذرة الكربون رقم ٥ في البنتوز (الشكل ١٢-٥) وتتصل قاعدة نيتروجينية بذرة الكربون رقم ١. يحتوي الحامض DNA على أربعة أنواع من القواعد النيتروجينية إثنان منها تسميان البيورينات purines تتركبان من ذرات كربون وذرات نيتروجين مرتبطة مع بعضها في حلقتين وهذه هي الأدينين adenine (A) والجوانين guanine (G) (الشكل ١٢-٥). أما القاعدتان الأخريان فهما من البيرميديئات pyrimidines وحيدة الحلقة السيتوزين cytosine (C) والثايمين thymine (T).



الشكل ١٢-٥. تركيب النيوكليوتيدات التي تعمل كوحدات للحامض DNA.

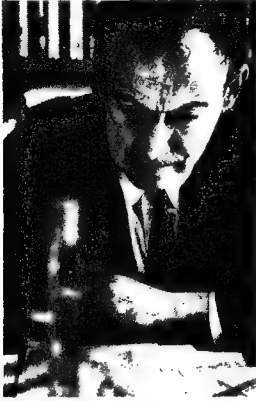
خاصية أخرى ملفتة للنظر في الحامض DNA هي أنه مهما كانت كمية الأدينين في نواتج هضم الحامض DNA من أي كائن فإن كمية الثايمين تكون مساوية لها (الشكل ١٢-٦). وبالمثل مهما كانت كمية السيتوزين (وهي تختلف كثيرا من نوع إلى آخر) فإن كمية الجوانين تكون مساوية لها. وعندما إكتشفت هذه العلاقة لأول مرة كانت غير مشجعة إذ أنها أوحى بتركيب متجانس متكرر للجزيء وليس ذلك من قبيل ما يتمناه المرء في جزيء تخزن فيه المعلومات. فبينما تحتوي البروتينات المختلفة على ما يصل إلى ٢٠ حامض أميني بنسب جزيئية شديدة التفاوت فإن الحامض DNA لا يحتوي إلا على أربعة مكونات وإذا عرفت النسب الجزيئية لأثنين منها (أحد البيورينات و أحد البيريميدينات) فأنك تعرف تلقائيا النسب الجزيئية للمكونين الآخرين. وهذا لا يعني أن الحامض DNA لا يستطيع تحويل المعلومات الوراثية إلى شفرة فنظام مورس الدولي ليس به سوى ثلاث وحدات (شرطة ونقطة وسكون) ومع ذلك فإنه بالوقت والصبر الكافيين يمكن تشفير محتويات مكتبة من أي حجم بواسطة.

وحتى يمكن التوصل الى كيفية قيام الحامض DNA بوظائفه (إختزان وتضاعف المعلومات) كان لابد من التوصل الى التركيب ثلاثي الأبعاد لهذا الجزيء. كان النجاح في هذه المهمة حليف علمين يعملان في جامعة كامبرج بأنجلترا عام ١٩٥٣ وهما جيمس واتسون (الشكل ١٢-٧) و فرنسيس كريك. كانت المعلومات لديهم هي ما سبق

الشكل ١٢-٦. تختلف نسبة السيتوزين + الجوانين : الأدينين + الثايمين من كائن لآخر (خاصة بين بدائيات النواه) ولكن في حدود الخطأ التجريبي فإن الأدينين = الثايمين والسيتوزين = الجوانين.

الكميات النسبية (%) للقواعد في الحامض DNA

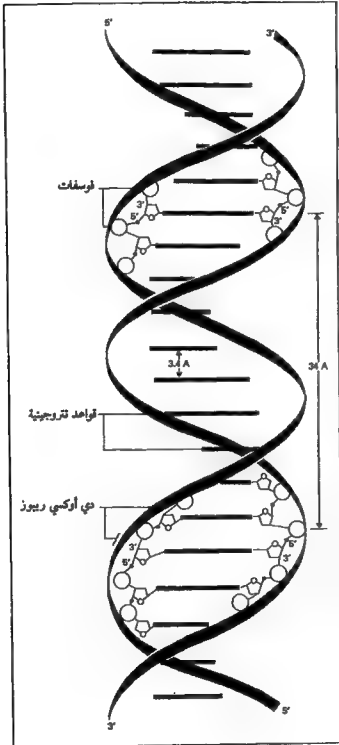
	أثنين	جوانين	سيتوزين	
الانسان	٣٠,٩	٢٩,٤	١٩,٩	١٩,٨
الدجاج	٢٨,٨	٢٩,٢	٢٠,٥	٢١,٥
النطاط	٢٩,٣	٢٩,٣	٢٠,٥	٢٠,٧
قنقذ البحر	٣٢,٨	٣٢,١	١٧,٧	١٧,٣
القمح	٢٧,٣	٢٧,١	٢٢,٧	٢٢,٨
الخميرة	٣١,٣	٣٢,٩	١٨,٧	١٧,١
بكتيريا القولون	٢٤,٧	٢٣,٦	٢٦,-	٢٥,٧



الشكل ١٢-٧.  
الدكتور جيمس د.  
واتسون من معمل  
كولد سبرنج هاربر  
و أحد مكتشفي  
تركيب الحامض  
DNA. (الصورة من  
تشارلز هاربرت -  
ماجنت للتصوير).

شرحه عن التركيب الكيميائي للجزيء وخبرة بزوايا الروابط الهيدروجينية وربما الأهم من كل ذلك صور بالأشعة السينية للبلورات X-ray crystallography لتحضيرات من الحامض DNA وقد استعملنا نماذج معدنية للنيوكليوتيدات ونجحنا أخيرا في بناء نموذج للجزيء يفسر كل المعلومات المعروفة عن الحامض DNA. ليس هذا فقط ولكن (كما فطنوا إلى ذلك بسرعة) هذا النموذج قدم آلية تفسر خاصية مضاعفة جزيء الحامض DNA لنفسه. كان هذا هو نموذج واتسون وكريك (الشكل ١٢-٨). ومكافأة لهما على الاكتشاف الكبير فقد اقتسما جائزة نوبل في عام ١٩٦٢.

في نموذج واتسون وكريك يتكون الجزيء من سلسلتين عديد في التسكر. يتكون العمود الفقري لكل سلسلة من مجموعات متبادلة من السكر والفوسفات. مجموعة الفوسفات المرتبطة مع ذرة الكربون رقم ٥ من إحدى وحدات السكر تكون مرتبطة تساهميا مع ذرة الكربون رقم ٣ من وحدة السكر التي تليها. تلتف سلسلتان من هذا النوع حول بعضهما البعض على هيئة سلم حلزوني (الشكل ١٢-٨). هذا هو الحلزون المزدوج the double helix. لاحظ أن سلسلتي الحلزون المزدوج تجريان في

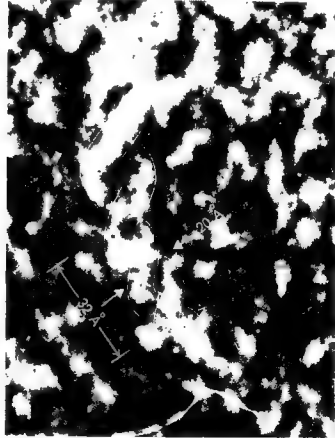


الشكل ١٢-٨. نموذج واتسون وكريك للحامض DNA. يقع كل زوج من القواعد النيتروجينية في مستوى عبر المحور المركزي للحلزون اللزودوج. لاحظ أن خيطي الحامض DNA يجران في اتجاهين متضادين أي أن أحدهما يجري في الاتجاه من ١/٣ إلى ١/٥ بينما يجري الآخر في الاتجاه من ١/٥ إلى ١/٣ كل خيط يكون لفة كاملة كل ٣٤ وحدة انجستروم. (معدل عن تمثيل تركيب الحامض DNA مؤلفة ويليام أتكين في مجلة بيوساينس العدد ٢٣ - نوفمبر ١٩٧٣ - صفحة ٦٥٣. بتصريح من المؤلف ومن المعهد الأمريكي للعلوم الأحيائية).



إتجاهين متضادين. وقد اصطلح على تجميع سلاسل الحامض DNA وقراءتها في اتجاه ذرات الكربون من ٥ إلى ٣. وفي الحلزون تجري إحدى السلسلتين في اتجاه بينما تجري زميلتها في الإتجاه الآخر (الشكل ١٢-٨) ولذلك يقال أن السلسلتين ضد متوازيتين "antiparallel".

تبرز القواعد البيورينية المرتبطة مع وحدات السكر الخثاسي نحو محور الحلزون. وعند كل خطوة في هذا السلم تبرز قاعدتان نحو بعضهما في نفس المستوي. ويبلغ قطر الحلزون المزدوج ٢٠ وحدة أنجستروم (A) (الشكل ١٢-٩). والآن عندما توجد قاعدتان بيريميدين في نفس المستوي فانها لن تغطيا المسافة بين العمودين الفقيرين للسلم الحلزوني. ولن تستطيع قاعدتان من البيورين بما لهما من حجم أكبر أن تدخل في مستوى واحد داخل الحلزون المزدوج. ولكن قاعدة بيورين واحدة وقاعدة بيريميدين واحدة تكفيان بالضبط للماء الفراغ المتاح. وقد لاحظنا سابقا أن كمية الأذنين (وهو بيورين) في الحامض DNA تكون دائما مساوية لكمية الثايمين

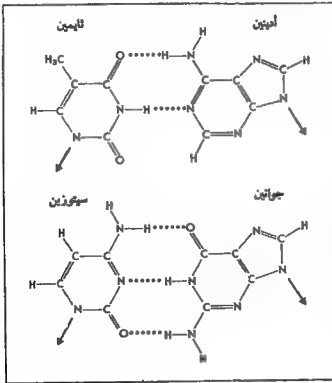


الشكل ١٢-٩.  
الرؤية المباشرة للتركيب  
الحلزوني للحامض DNA.  
أضيفت الخطوط الى صورة  
المجهر الإلكتروني لتجمل  
خيطي الجزيء أكثر  
وضوحا. (يتصرّح من  
الدكتور جاك جريفيث من  
مدرسة الطب بجامعة  
ستانفورد).

(وهو بيريميدين) كما أن كمية السيتوزين (وهو بيريميدين) تكون دائماً مساوية لكمية الجوانين (وهو بيورين). وهذا يتفق بالتأكيد مع ضرورة تقابل بيورين دائماً مع بيريميدين حتى يتسع لها الحلزون. ولكن لماذا لا يتقابل الأدينين مع السيتوزين والجوانين مع الثايمين؟ النظرة الفاحصة لشكل الجزيء في كل منهم تعطينا الأجابة. انها مسألة الفرص المتاحة لتكوين روابط هيدروجينية بين البيورين والبيريميدين.

تذكر أنه حيثما تقترب ذرتان لهما سالبية كهربية عالية (و تتصل بأحدهما ذرة هيدروجين) تنشأ بينهما رابطة هيدروجينية. وضع مجموعتي  $C=O$  و  $N-H$  في الثايمين وكذلك مجموعة  $NH_2$  على إحدى ذرات النتروجين في حلقة الأدينين يكون بحيث اذا تقاربت القاعدتان من بعضهما تنشأ بينهما رابطتان هيدروجينيتان (الشكل ١٢-١٠). أما إذا حاولنا وضع الثايمين مع الجوانين فلا يمكن تكوين مثل هذه الروابط. عند وضع الجوانين مع السيتوزين في نفس المستوي فان التقارب بين ثلاثة أزواج من ذرات سالبية كهربية قوية يؤدي الى نشأة ثلاث روابط هيدروجينية بينها (الشكل ١٢-١٠).

وعلى ذلك يكون الشكل الهندسي والفرص المتاحة لتكوين الروابط الهيدروجينية



الشكل ١٠-١٢. أماكن الروابط الهيدروجينية بين الثايمين والأدينين وبين السيتوزين والجوانين. ان وجود هذه الروابط الهيدروجينية المتعددة (حوالي ٢٥ رابطة في كل لفه) هو الذي يكسب الحلزون المزدوج للحامض DNA هذا الاستقرار الكبير. على الرغم من أن أشكالهم مناسبة الا أن الثايمين لا يستطيع تكوين روابط هيدروجينية مع الجوانين كما أن السيتوزين لا يستطيع تكوين روابط هيدروجينية مع الأدينين.

الناجاة عنه هو الذي يفسر لماذا تكون كمية الأدينين في الحامض DNA مساوية لكمية الجوانين. أزواج القواعد هذه فقط هي التي تربط أجزاء الحلزون مع بعضها. جزيء واحد من الحامض DNA قد يحتوي ما بين عدة مئات أو آلاف الى مائة مليون من أزواج القواعد. وبينما تكون الرابطة الهيدروجينية المفردة ضعيفة جدا (أقل من ٥ كيلو سعر / مول) فإن التأثير الجماعي لرابطين هيدروجينيتين أو ثلاث بين كل زوج من القواعد يكسب المركب قدرا كبيرا من الاستقرار.

### DNA REPLICATION

### ١٢-٣. تضاعف الحامض DNA

يقدم نموذج واتسون وكريك لجزيء الحامض DNA الأساس الجزيئي للخاصيتين المركزيتين للمعلومات الوراثية : وسيلة لأختزان المعلومات و وسيلة لعمل نسخ منها. التسابع الخطي للقواعد الأربعة يمكن أن يكون هو جهاز تخزين المعلومات - شفرة مكونة من أربع وحدات أي بزيادة وحدة واحدة عما هو موجود في شفرة مورس. ولكن يجب أن نلاحظ أنه إذا كان ذلك صحيحا فإن جزيء الحامض يحتوي على مجموعتين كاملتين من المعلومات المشفرة وذلك لأننا لو عرفنا تتابع القواعد على أحد الخيطين فإن مبادئ أزواج القواعد يعطينا فورا تتابعهم على الخيط الآخر. مهما كان تتابع القواعد الموجودة على أحد الخيطين فلا بد أن يكون تتابع القواعد الموجودة على الخيط الآخر مكملا له complementary. العلاقة بين التتابعين تشبه العلاقة بين السالب والموجب للصورة الفوتوغرافية. هذه البساطة في تركيب الحامض DNA تؤدي الى آلية لطيفة لتفسير واحدة من الخصائص الجوهرية للمعلومات الوراثية ألا وهي قدرتها على مضاعفة نفسها.

حسب ما اقترح واتسون وكريك فإن تضاعف الحامض DNA يبدأ بفك سوستة «unzipping» الجزيء «الأب» أي بكسر الروابط الهيدروجينية بين أزواج القواعد ثم تمدد نصفي الجزيء الحلزوني. وبمجرد انكشاف تتابع القواعد على كل من الخيطين المنفصلين فإنه يعمل كقالب template لتوجيه تراكم مجموعة القواعد المكملة له والتي تلزم لتخليق خيط جديد. ويتم تجميع الخيط الجديد من واحد دي-أوكسي ريبونوكليوسايد ثلاثي الفوسفات deoxyribonuc- leosie triphosphate وكلما إتصلت نيوكليوتيدة بالسلسلة النامية فإنه يتم إستبعاد



الشكل ١٢-١١. آلية تضاعف الحامض DNA. بعد انفصال خيطي الحامض DNA يحمل كل منهما كقالب يتجمع عليه خيط مكمل له وبهذه الطريقة يتم تخليق جزيئين من الحامض DNA مطابقين لبعضهما وللجزيء الأصلي. (مأخوذ من نظرة إلى الحياة للوريا وجولد وسنجر - حقوق الطبع في ١٩٨١ - شركة بنيلمين كمنز للنشر المحدودة - الرسم لجيورج كلات).

مجموعتي الفوسفات الثانية والثالثة (إرجع إلى الشكل ٤-٢٩). الأنزيم المسؤول عن ربط النيوكليوتيدات مع بعضها في خيط يسمى DNA polymerase. و تتجمع النيوكليوتيدات في نظام مكمل لنظام القواعد الموجود على الخيط الأبوي والذي يعمل كقالب. على ذلك، فإن كل سيتوزين يعمل كقالب ينصب عليه جوانين من الخيط

الجاري تخليقه و كل جوانين يعمل كقالب ينصب عليه سيتوزين من الخيط الجاري تخليقه وهكذا. وعندما تكتمل العملية يكون جزيئان من الحامض DNA قد تكونا وهما مطابقان لبعضهما تماما وللجزيء الأب (الشكل ١٢-١١).

## TESTS OF THE WATSON - CRICK MODEL

اختبارات على نموذج واتسون وكريك

في عام ١٩٥٨ تلقى هذا الافتراض دعما تجريبيا قويا من دراسة م. س. ميزلسون و ف. و. ستال. فقد استعملا بكتيريا القولون العادية *Escherichia coli* في تجاربهما. بكتيريا القولون يمكن أن تنمو على وسط غذائي يحتوي ببساطة على الجلوكوز وبعض الأملاح غير العضوية. لا بد من وجود مصدر لذرات النتروجين ضمن هذه الأملاح وهي لازمة لتخليق البروتينات و الأحماض النووية. تؤدي أيونات الأمونيوم ( $NH_4^+$ ) هذه المهمة بنجاح. على الرغم من أن أكثر نظائر النتروجين شيوعا هو  $N^{14}$  فانه يمكن تخليق أيونات أمونيوم تحتوي على النظير الأثقل  $N^{15}$ . في البداية قام ميزلسون وستال بتربية بكتيريا القولون لعدة أجيال في وسط غذائي يحتوي على  $NH_4^+$  وقد وجدا في نهاية هذه المدة أن الحامض DNA بالخلايا أثقل من المعتاد بسبب

الشكل ١٢-١٢. تجربة

ميزلسون و ستال. تم

استخلاص الحامض DNA

المستخلص تبعاً للمكان

الذي يتركب فيه بعد اللف في

جهاز الطرد المركزي

الشديد. تكوين طبقتين

متفصلتين من الحامض DNA

بعد جيلين في النتروجين

العادي  $N^{14}$  (أحداهما تكائيء

كل  $N^{14}$  والأخرى متوسطة

الكثافة) بين أن خيط واحد

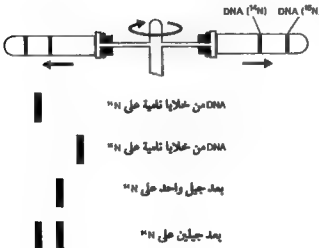
من الحامض DNA الثقيل

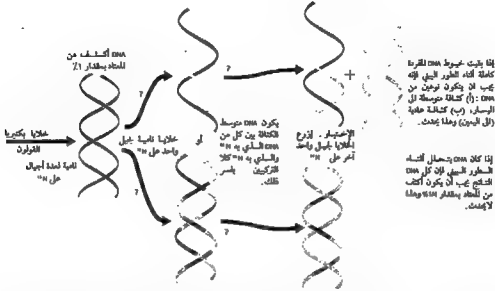
( $N^{15}$ -DNA) قد بقي متكاملاً

أثناء دورتين من دورات

التضاعف (أنظر الشكل

١٢-١٣).





الشكل ١٢-١٣. تفسير نتائج تجربة ميزلسون وستال. أثناء عملية التضاعف يظل كل خيط كاملا ويبنى خيطا مكملا له من النيوكليوتيدات المتاحة. هذا يتمشى مع نموذج واتسون وكريك للحامض DNA.

إدماج ذرات  $^{15}\text{N}$  فيه (الشكل ١٢-١٣) وبعد ذلك نقلنا الخلايا الى وسط يحتوي على أيونات الأمونيوم العادية ( $^{14}\text{NH}_4^+$ ) وسمحوا لها بالانقسام مرة واحدة فقط. كان الحامض DNA في الجيل الجديد من الخلايا متوسط تماما في وزنه بين الحامض DNA الثقيل في الجيل السابق والحامض العادي (الشكل ١٢-١٣). هذا في حد ذاته ليس غريبا ولا يدلنا إلا على أن نصف ذرات النيتروجين في الحامض DNA الجديد من النوع  $^{14}\text{N}$  والنصف الآخر من النوع  $^{15}\text{N}$  ولا يعطينا أي فكرة عن ترتيبهم في الجزيء. ومع ذلك عندما سمح للبكتيريا أن تنقسم مرة أخرى في وسط به أيونات أمونيوم عادية ( $^{14}\text{NH}_4^+$ ) فقد تكون وزنان متميزان من الحامض

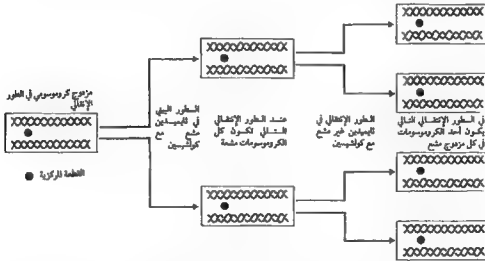
DNA: كان وزن نصف الحامض عاديا وكان وزن النصف الآخر متوسطا (الشكل ١٢-١٣). وكما يتضح من الشكل ١٢-١٣ فإن جزيئات الحامض DNA لا تتحلل ثم يعاد تشكيلها أثناء انقسام الخلية وبدلا من ذلك يظل كل خيط أصلي كاملا أثناء بناء الخيط المكمل له من النيوكليوتيدات المتاحة له. غالبا ما توصف هذه الطريقة لتضاعف الجزيئات بأنها نصف محافظة "semiconservative" لأن كل جزيء من الحامض DNA نصفه قديم ونصفه الآخر جديد.

نظرية واتسون وكريك عن الطريقة نصف المحافظة لتضاعف الحامض DNA تجد انعكاسا لها حتى على مستوى الكروموسومات الميراثية. عندما تنمو القمم النامية لجذور النبات في محلول يحتوي على الثايميدين  $thymidine$  المشع (وهو النيوكلويدة المحتوية على الثايمين T) تكتسب الكروموسومات في الخلايا المتقسمة بسرعة النشاط الأشعاعي بالتساوي وعند نقل هذه القمم النامية من المحلول المشع الى آخر غير مشع به الثايميدين والكولشيسين يحدث التضاعف الكروموسومي بدون إنقسام الخلايا وبعد عملية تضاعف واحدة لا تزال الكروموسومات متساوية في النشاط الأشعاعي ولكن بعد عملية التضاعف الثانية تكون كروماتيدة واحدة فقط من كل كروموسوم مشعة والأخرى غير مشعة (الشكل ١٢-١٤).

#### DETAILS OF THE MODEL

#### تفاصيل النموذج

التحليل الدقيق لنظام الوراثة في بكتيريا القولون *E. coli* أثبت بوضوح تام أن الجينات في هذا الكائن موجودة في جزيء واحد دائري من الحامض DNA يبلغ طوله



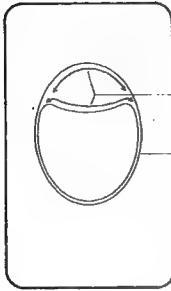
الشكل ١٢-١٤. تضاعف الكروموسومات. النتائج توجي بأن: (١) كل كروموسوم (كروماتيدة) يتكون من جزيئين و (٢) كل واحد من هذين الجزيئين يظل كاملاً أثناء عملية التضاعف. التوازي بين هذه التجربة والتجربة المبينة في الشكل ١٢-١٣ يوحي بأن الجزيئين هما خيطي جزيء DNA وأنها يتفصلان أثناء الطور البيني حسب نموذج واتسون وكريك. وليس معروفاً حتى الآن كيفية تنظيم الحامض DNA في الكروموسوم. أجرى هذه التجربة الدكتور ج. هربرت تاييلور.

حوالي ١ مم (على الرغم من أن عرضه ٢٠ وحدة أنجستروم فقط!) وقد تم عزل هذا الجزيء فعلا من خلايا بكتيريا القولون. وقد يكون التعبير «أندفاع» أفضل من «عزل» لأن هذا الجزيء الذي يبلغ طوله ١ مم محشور في خلية لا يزيد طولها عن حوالي ٢ ميكرون. في بكتيريا القولون إذن يكون الكروموسوم عبارة عن جزيء واحد من الحامض DNA. الكروموسومات في الكائنات الراقية تكون أكبر وأكثر تعقيدا بكثير. ومع ذلك فهناك دليل (بالإضافة الى دليل تايلور) أن الكروموسوم الواحد في الكائنات حقيقية النواة يحتوي فقط على جزيء واحد متصل من الحامض DNA. أكبر الكروموسومات في ذبابة الفاكهة مثلا يحتوي على جزيء واحد من الحامض DNA به حوالي ٦٥ مليون من أزواج القواعد وإذا تمدد هذا الجزيء بالكامل يصل طوله الى ٢٢ سم.

كل من الكائنات بدائية النواة والكائنات حقيقية النواة تستعمل (على الأقل) ثلاثة أنواع مختلفة من إنزيمات بلمرة الحامض DNA لكي يتم تضاعفه وبالإضافة الى هؤلاء يستعمل أيضا عشرة إنزيمات أخرى في هذه العملية. إنزيمات بلمرة الحامض DNA لا تستطيع أن تستعمل كقالب إلا خيوط مفردة من الحامض (ss DNA). single-stranded هذا يعني أنه قبل أن يتضاعف جزيء من DNA لابد من انفصال سلسلتيه ولكن كيف لك أن تفك إلتفاف جزيء قد يصل طوله إلى ٢٢ سم ويحتوي على أكثر من ٦ ملايين لفة؟ تم اكتشاف إنزيم خاص بفك الإلتفاف وهو يقوم بفك إلتفاف الحلزون المزدوج الأبوى ولكن حالما تنفصل السلسلتان لمسافة قصيرة تبدأ إنزيمات البلمرة في أداء عملها. وكلما تكونت سلسلة بنوية فانها تعيد تكوين حلزون مزدوج مع السلسلة التي عملت كقالب لها. بهذا الأسلوب تسرى موجة من التضاعف دائما عند نقطة محددة على الكروموسوم وتتقدم في الاتجاهين على طول الكروموسوم الحلقي (الشكل ١٢-١٥). ولا تستغرق العملية كلها سوى ٤٠ دقيقة في بكتيريا القولون. اذا بدأ التضاعف في أحد كروموسومات ذبابة الفاكهة عند مكان واحد فانه سوف يستغرق أسبوعين لإتمام العملية. ولكن تضاعف الحامض DNA يبدأ في نفس الوقت عند حوالي ٦٠٠٠ مكان على كروموسوم ذبابة الفاكهة ويكتمل فيما يزيد قليلا عن دقيقتين.

جميع إنزيمات بلمرة الحامض DNA التي تم إكتشافها تجمع السلاسل الجديدة





السلاسل البنوية من DNA

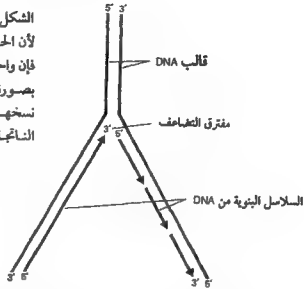
الكروموسوم الأبوي

الشكل ١٢-١٥. آلية تضاعف الجزيء الوحيد من الحامض DNA الذي يحمل جينات بكتيريا القولون. يقوم إنزيم فك الالتصاف بفتح الحلزون المزدوج عند مكان محدد في الجزيء ثم تبدأ انزيمات بلمرة الحامض DNA في نسخ كل سلسلة في كل اتجاه. السلاسل حديثة التخليق تعيد تكوين حلزون مزدوج بسرعة بمشاركة السلاسل التي عملت كقالب لها.

في الاتجاه ٥ ← ٣. أي تقرأ القالب في الاتجاه ٣ ← ٥. ولكن ذلك يعني أنه عندما ينفك التفات الجزيء الأبوي فانه يمكن نسخ سلسلة واحدة بدون انقطاع بواسطة إنزيم البلمرة كلما تقدم نحو «مفترق» fork التضاعف (الشكل ١٢-١٦). السلسلة الأبوية الأخرى لا بد من نسخها بطريقة غير مستمرة discontinuously عندما ينفك التفات ما يكفي من الحلزون المزدوج يتقدم إنزيم البلمرة بعيدا عن مفترق التضاعف (وبالتالي في الاتجاه ٣ ← ٥). ويعمل على تخليق قطعة من النيوكليوتيدات وكلما استمر فك التفات الجزيء الأبوي يرتبط جزيء آخر من إنزيم البلمرة خلف الجزيء السابق ويبدأ في تخليق قطعة أخرى من النيوكليوتيدات (الشكل ١٢-١٦). عندئذ يقوم إنزيم DNA ligase بلحام القطع في سلسلة بنوية متصلة.

تمت دراسة تركيب الكروماتين (كروموسومات الكائنات حقيقية النواة في صورتها المتمددة أثناء الطور البيني) بعدة طرق. ودراسة الكروماتين من عدة أنواع من الخلايا بالمجهر الأليكتروني كشفت عن ترتيب خطي لتراكيب كروية تسمى الأجسام النووية nucleosomes يصل بينها خيط رفيع (الشكل ١٢-١٧). ولأسباب واضحة تم تشبيه هذا الترتيب بحبات الخرز المرتبطة بخيط. يبدو أن هذه الحبات (الأجسام النووية) تتربك من جزيئين كل منهما يتكون من أربعة أنواع مختلفة من المستنونات يغلفها حلزون مزدوج من الحامض DNA يبلغ طوله حوالي ٢٠٠ من أزواج القواعد. أما الخيط فيبدو

الشكل ١٢-١٦ . آلية تضاعف الحامض DNA  
لأن الحامض DNA يتم تخليقه فقط في الاتجاه 5'→3'  
فإن واحد فقط من السلسلتين الأويتين يتم نسخها  
بصورة مستمرة (اليسار) . السلسلة الأخرى يتم  
نسخها بصورة مقطعة (اليمن) ثم تترابط القطع  
الناجمة تساهميا بواسطة انزيم DNALIGASE



أنه حلزون مزدوج من الحامض DNA مرتبط مع نوع خامس من المستنوتات و بروتين  
آخر من غير المستنوتات . ولاتزال تفاصيل كيفية قيام مثل هذا التركيب المتجانس  
بالتعبير عن المعلومات الوراثية في إنتظار المزيد من البحوث .

#### DNA REPAIR

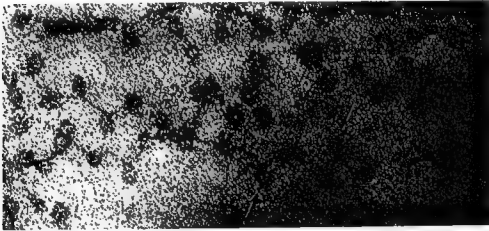
#### إصلاح الحامض DNA

إن تركيب الجزيء DNA لايسمح فقط بالتضاعف الذاتي الدقيق و إنما يكون  
مناسباً أيضاً للحفاظ على تتابع القواعد التي يحتوي عليها لأمد طويل . لأن كل سلسلة  
في الجزيء DNA مكملة للسلسلة الأخرى فإن المعلومات الموجودة في واحدة تكون  
مشفرة أيضاً في الأخرى . فإذا ما حدث لسبب ما أي خلل في تتابع القواعد الموجودة  
على إحدى السلسلتين فإن الرسالة الصحيحة ما زالت تحددها السلسلة المكملة لها .  
وفي الواقع فإن الخلايا تستفيد من هذه الميزة لتصحيح الأخطاء التي تحدث في الحامض  
DNA الموجود بها . فبواسطة واحد من إنزيمات البلمرة (يسمى بوليميريز ١  
polymerase I في بكتيريا القولون وبوليميريز بيتا polymerase B في الكائنات حقيقية  
النواة) تقوم الخلايا باستبعاد القواعد التالفة أو غير الصحيحة من إحدى سلسلتي  
الجزيء ثم يتم إحلال القواعد الصحيحة محلها - أي القواعد التي تكون مكملة  
للقواعد الموجودة على السلسلة المقابلة . ويقوم إنزيم DNA ligase بلحام الجزء الذي  
تم إصلاحه من النيوكليوتيدات ضمن الجسم الرئيسي للسلسلة .

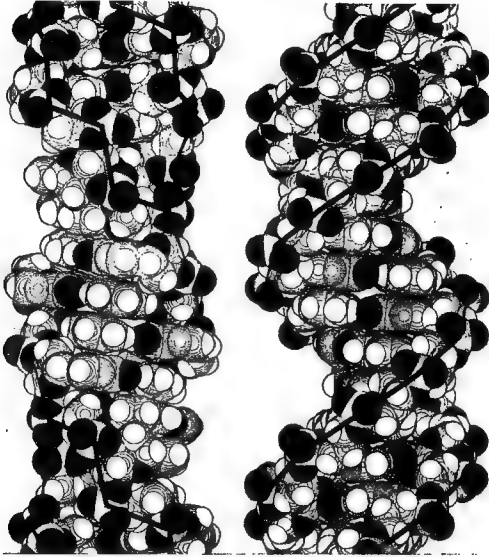
الأمانة في تضاعف واصلاح الحامض DNA تضىفى استقرارا كبيرا على الجينات. دعونا نتفحص حالة حية لاستقرار المعلومات المشفرة في الحامض DNA. في السنوات الأخيرة كشفت الدراسات عن وجود ثمانية الاف شخص في جنوب أفريقيا ضحايا لأحدى العلل الأيضية المتوارثة التي تسمى بورفيريا porphyria. في هؤلاء الأشخاص لا يتم أيض البورفيرينات الناتجة من تكسير الهيموجلوبين و أنواع السيوكروم . ويتم توارث هذا المرض عن طريق جين سائد على أحد الكروموسومات الذاتية. ومعظم المرضى من سكان جنوب أفريقيا والباقي كانوا قد هاجروا منها. بل إن كل واحد من هذا الحشد الضخم يمكن تتبع أصله حتى يصل نسبه إلى واحد من أربعة أشخاص. هؤلاء الأربعة هم من بين ثمانية أطفال أنجبتهم أرياني جانس وزوجها جيرث جانس وهما مهاجران هولنديان تزوجا في جنوب أفريقيا عام ١٦٨٨. من البديهي أن أرياني أو جيرث كان يحمل الجين المعيب و انتقل منه الى أربعة على الأقل من أبنائه ومنهم انتشر بدون تغير في الأجيال المتزايدة اللاحقة.

#### ١٢-٤. الحامض DNA الأعر LEFT - HANDED DNA

في عام ١٩٧٩ إكتشفت مجموعة من العلماء في معهد ماسا شوستس للتكنولوجيا أن



الشكل ١٢-١٧. الكروماتين من نواة خلية دم حمراء في الدجاج. تشير الأسهم الى الأجسام النووية (نيوكليوسومات) التي تتكون من قلب من جزيئات المستون مغلف بالحامض DNA. الخط الذي يربط بين الأجسام النووية يتكون من الحامض DNA وربها كان مرتبطا مع نوع واحد من المستونات وبعض البروتينات غير المستوية. (يتصرح من دونالد إي. أولينز و آدال. أولينز - جامعة تنيسي).



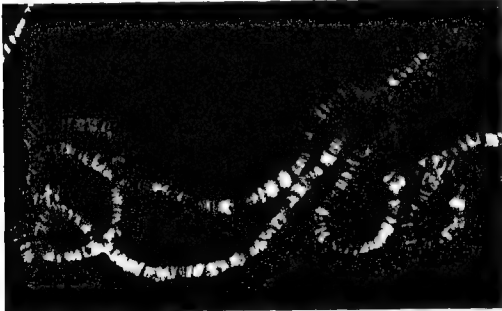
الشكل ١٢-١٨. نماذج للحامض DNA الأحمر (Z-DNA) إلى اليسار و الحامض DNA الأزرق (B-DNA) إلى اليمين. الخط السميك يصل بين مجموعات الفوسفات المتجاورة في كل خيط. قام ج. كيجلي بتطوير برنامج الحاسب الآلي الذي صمم هذين النموذجين في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا بتصريح من أ. ريتش - مجلة ساينس العدد ٢١١ في ٩ يناير (١٩٨١).

الحامض DNA قد يوجد في صورة حلزون مزدوج أعسر (أي التفافه نحو اليسار). لقد أجروا تصويراً بللوريا بالأشعة السينية على بللورات تخليقية من الحامض DNA بها قواعد الجوانين والسيترين في ترتيب تبادلي. وعند تحليل الأنماط الناتجة تبين وجود حلزون ولكنه يختلف عن نموذج واتسون وكريك في أن خيوطه تلتف في اتجاه مضاد

لأنه عتارب الساعة (الشكل ١٢-١٨) . الحلزون المزدوج لهذا الحامض DNA الأعر (وسمى Z-DNA) يكون أكثر إستطالة بقليل من الحلزون المزدوج في نموذج واتسون وكريك: يبلغ قطرة ١٨ وحدة انجستروم (بدلا من ٢٠) ويكون كل ١٢ من أزواج القواعد لفة كاملة (بدلا من ١٠) .

يشور السؤال فوراً: هل يوجد الحامض DNA الأعر في الخلايا؟ باستعمال الأجسام المضادة antibodies (راجع الباب ٢٤) التي تلتحم مع Z-DNA وليس مع الحامض DNA العادي (الذي يسمى "B" DNA) تمكن الكسندر ريتش وديفيد ستولار ومساعدوهما في معهد ماسا شوستس للتكنولوجيا وجامعة تكس من إيضاح أن الكروموسومات العملاقة في ذبابة الفاكهة تحتوي على كميات كبيرة من Z-DNA. يتركز الحامض Z-DNA أساسا في الشرائط البينية أي المناطق التي توجد بين الشرائط الذاكرة (الشكل ١٢-١٩) .

هناك دليل على أنه عند إضافة مجموعات الميثيل ( $\text{CH}_3$ ) إلى الجوانين والسيتوزين في



الشكل ١٢-١٩ . صورة فلورسنتية مجهرية توضح وجود الحامض (Z-DNA) في الكروموسومات العملاقة في ذبابة الفاكهة . عولجت الكروموسومات بأجسام مضادة من أرنب اكتسب مناعة بالحامض Z-DNA ثم صبغ بصيغة تجعل الأجسام المضادة من الأرنب تتألق . يبدو الحامض Z-DNA وقد تركز في الشرائط البينية وإن كان بعضه يوجد أيضا في الشرائط كذلك . (بتصريح من ب . دافيد ستولار من أ . نوردهايم وآخرين - مجلة ناتشر العدد ٢٩٤ ص. ٤١٧ - ١٩٨١) .

الحامض DNA فإنها تدفعه إلى التحويل من الإتجاه اليميني للإلتفاف إلى الشكل الأيسر ويبدو أن المشتق الميثيلي من الحامض DNA يكون خاملا في الخلايا وربما كانت هناك علاقة بين هذا التحول المتبادل بين هذين الشكلين للحامض DNA وبين نشاط الجينات أو توقفها عن النشاط . ومطلوب المزيد من البحوث في هذا الصدد .

## MUTATIONS

## ١٢-٥ . الطفرات

على الرغم من أن نظام الجزيء في الحامض DNA يجعله شديد المقاومة لحدوث تغيرات في تتابع القواعد إلا أن هذه التغيرات تحدث بالفعل . مثل هذه التغيرات تسمى الطفرات الجينية أو طفرات النقط gene or point mutations الجين الخاص بالهيموفيليا الذي أنعمت به الملكة فيكتوريا على كل هذا العدد من أفراد البيوت الملكية في أوروبا نشأ تلقائيا . وتسميتنا للطفرة بأنها تلقائية يعني اعترافنا بأننا لانعلم شيئا عن سبب حدوثها . ومع ذلك فانا نعرف الكثير عن عدد من العوامل التي تسبب حدوث الطفرات .

## MUTAGENIC AGENTS : RADIATION

## مسببات الطفرة : الأشعاع

في عام ١٩٢٧ سجل عالم الوراثة هـ. ج. مولر أنه تمكن من زيادة معدل الطفرة في ذبابة الفاكهة بمقدار ١٥ ضعف وذلك بتعريضها للأشعة السينية . ومنذ ذلك الحين وجدت أنواع من الأشعة قصيرة الموجة مثل أشعة جاما تحدث الطفرات . وحتى الأشعة فوق البنفسجية تحدث الطفرة إذا ما تمكنت من النفاذ إلى الكروموسومات .

كيفية أحداث الأشعة للطفرات ليست مفهومة بالكامل . الأشعة فوق البنفسجية يمكنها أحداث كسور في خيوط الحامض DNA كما يمكنها أن تتسبب في تكوين روابط تساهمية بين قواعد الثايمين والثايمين وكذلك بين السيتوزين والثايمين إما المتجاورة على نفس الخيط أو عبر السلم . اصلاح مثل هذه العيوب قد يؤدي إلى نقل في القواعد (مثلا من سيتوزين - جوانين إلى ثايمين - أدنين) وبالتالي إلى تغير في الشفرة الوراثية . أما الأشعة السينية فيحتمل أنها تتسبب في كسور بالحامض DNA و من المؤكد أنها تسبب كسورا مرئية في الكروموسومات .

إلى أي حد تكون الطفرات هامة؟ من أجل الاجابة على هذا السؤال لا بد أن نفرق بين الطفرات التي تحدث في الأعضاء التناسلية حيث تنتج الحيوانات المنوية

والبويضات وبين تلك الطفرات الجسدية التي تحدث في الأجزاء الأخرى من الجسم .  
الطفرة في خلية منشئة لخلايا الدم قد تقتلها أو توقف قدرتها على الانقسام غير المباشر  
أو حتى تحولها إلى قضية سرطانية . ورد فعل الجسد للأشعة - على الأقل عند الجرعات  
المرتفعة نسبيا - معروف جيدا فهو يشتمل على مثل تلك التأثيرات كارتفاع احتمال  
الاصابة بسرطان الدم وهوزيادة سرطانية في خلايا الدم البيضاء . هذه المعلومات متتاة  
من دراسات دقيقة أجريت على الناجين من هيروشيما و ناجازاكي والناجين من عدة  
حوادث تعرض لمستويات عالية من الأشعاع الذرى .

هناك عدة وحدات مستعملة لوصف جرعات الأشعة . الوحدة الأساسية للأشعاع  
هي الرونتجن (r) roentgen وهي مأخوذة من اسم مكتشف الأشعة السينية . وحيث أن  
الأنواع المختلفة من الأشعة تختلف عن محتواها من الطاقة وفي تأثيرها على الأنسجة  
البشرية فاننا نستعمل وحدتين تربط بينهما علاقة . هاتان هما الراد rad والرم (وهي  
الحروف الثلاثة الأولى من roentgen-equivalent-man) وبالنسبة للأنواع التي سوف  
نتحدث عنها من الأشعة فانه يمكن اعتبار الوحدات الثلاث متكافئة .

إن جرعة مقدارها ٥٠-١٠٠ راد موزعة على كل أجزاء الجسم تجعله يشعر بالأعياء  
ونصف الناس الذين يتعرضون لجرعة مقدارها ٤٠٠-٥٠٠ راد سوف يموتون وإذا بلغ  
مجموع تعرض الجسم ما دون ٢٥ راد تبدو عليه تأثيرات مرئية . ويكون تأثير الاشعاع  
على الخلايا الجسدية أقوى ما يمكن في الأنسجة التي يحدث بها الانقسام غير المباشر  
كثيرا . وعلى ذلك فالجلد وبصيلات الشعر وبطانة الأمعاء ونخاع العظم (حيث تتكون  
خلايا الدم) هي أكثر الأنسجة تعرضا للتلف .

وبينما قد تؤدي الجرعات الأقل من القاتلة الى تقصير فترة الحياة أو قد تؤدي الى  
حدوث السرطان إلا أن تأثير الأشعاع على الخلايا الجنسية له اعتبار خاص . فالطفرات  
في خلايا الجسد تموت بموته ولكن الطفرات في الخلايا الجنسية قد تنتقل الى أجيال  
المستقبل من خلال الحيوان المنوي أو البويضة . في مثل هذه الحالة سوف يكون الجين  
المتطفر موجودا في جميع خلايا النسل . وعلى حين يكون جمع معلومات مؤكدة صعبا فانه  
يمكن القول بأن جرعات الأشعاع التي ليس له أي تأثيرات جسدية مرئية مطلقا تكون  
قادرة على إحداث الطفرات في الخلايا الجنسية .



الشكل ١٢-٢٠. تقدير الجرعة السنوية من الاشعاع على أعضاء التناسل.

جزء لا يستهان به من حالات التماس الطيبة التي يتعرض لها البشر يمكن إرجاعه إلى عيوب وراثية. لذلك كان من الضروري أن نعلم كل ما نستطيع عن معدلات الطفرة وما هو تأثير الإشعاع عليها. في الشكل ١٢-٢٠ يوجد جدول يعطي تقديرات عن جرعات الأشعة السنوية التي تتعرض لها الأعضاء الجنسية لمواطن عادي من الولايات المتحدة الأمريكية (أي من غير علماء الإشعاع). وقد تجد من المفيد دراسة هذا الجدول للحصول منه على أفكار عن الطرق التي يمكن بها تقليل فرص تعرض البشر للإشعاع إلى أدنى حد ممكن.

#### MUTAGENIC AGENTS: CHEMICALS

#### مسيبات الطفرة: المواد الكيميائية

هناك أيضا عدد من المواد الكيميائية التي تسبب حدوث الطفرة. أول مركب محدث للطفرة يكتشف كان غاز المسطرة mustard gas الذي استعمل في الحرب العالمية الأولى. هذه المواد وكثير من أمثاله تضيف مجموعات محتوية على الكربون (مثل -CH<sub>3</sub> أو -CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) إلى جزيئات عضوية أخرى وهي عملية تسمى الألكلة



alkylation. حدوث الألكلة في قواعد الحامض DNA يمكن أن يسبب فجوات في الحيط فإذا ما امتلأت مثل هذه الفجوات بالقواعد غير الصحيحة فإن الشفرة الوراثية تتبدل. هناك عدد من الجزيئات الأخرى التي تقلد القواعد العادية قد تندمج في الحامض DNA وتؤدي إلى تغيرات في الشفرة الوراثية. يبدو أن جزيء الكافاين caffeine أحد هذه الجزيئات. عدد كبير من المواد الهيدروكربونية مثل بنزوبيرين benzopyrene يسبب الطفرات. وفي أغلب الحالات لا تكون طريقة عمل هذه المواد واضحة.

يقدر أن الصناعات الكيميائية تنتج الآن حوالي ٥٠٠٠٠ مادة كيميائية مختلفة وتزداد القائمة في الطول كل سنة. هل كل هذه المواد غير ضارة؟ من الواضح أن بعضها ليس كذلك. فعندما يتم طلاء بعضها على جلد حيوانات التجارب فإنها تسبب له السرطان. وعندما تتم تغذية حيوانات التجارب على بعض هذه المواد فإنها لا تتسبب في حدوث السرطان فقط وإنما تؤدي كذلك إلى عيوب في المواليد. وعندما يتضح من هذه الاختبارات أن مادة كيميائية تتسبب بقوة في حدوث السرطان carcinogenic أو تشبأ عنها عيوب في المواليد teratogenic فإن الجهود تبذل لاحتلال مادة أخرى أكثر أماناً محلها. ولكن مشكلة اختبار كل المواد التي نتعرض لها مشكلة هائلة والاختبارات على الحيوانات بطيئة (قد يستغرق ظهور السرطان في الفئران ثلاث سنوات) وليست حساسة بالقدر الكافي. لهذه الأسباب هناك حاجة ملحة لابتعاد اختبارات بديلة تكون سريعة وغير مكلفة وحساسة. واختبار إيمز the Ames test الذي سمي على أسم العالم الذي توصل إليه هو أحد هذه الاختبارات.

يقوم اختبار إيمز على افتراض أن أي مادة كيميائية تسبب الطفرات يجب أن تسبب السرطان أيضاً وقد تؤدي كذلك إلى إحداث عاهات بالمواليد. ولذلك فإن اختبار إيمز هو اختبار لمسببات الطفرة. والكائن الاختباري هو أحد سلالات السالمونيلا تايفيمورم *Salmonella typhimurium* وهي البكتيريا التي كثيراً ما تسبب التلوث المعوية في البشر. وتستعمل سلالة متطفرة غير قادرة على تخليق الحامض الأميني هستيدين histidine من المواد البسيطة في وسطها الغذائي. (وعلى ذلك فهي كائن متطفز ذو نقص غذائي مثل أولئك الذين وصفناهم في القسم ٩-٤). يستغل اختبار إيمز حقيقة أن الجينات يمكن أن تتطفز من حالة النقص إلى حالة الأكتمال الوظيفي وبالعكس. وعلى ذلك فإنه عندما تتعرض البكتيريا المتطفرة إلى أحد مسببات الطفرة



الشكل ١٢-٢١. اختبار إيمز. زرع معسلق من البكتيريا سالونيللا تايفيموريم محتاج الى هستيدين على اجار غلوط بأنزيات كبد الفأر وينقصه الهستيدين (الشكل ١٢-٢١). قرص ورق الترشيح في الوسط به ١٠ ميكروجرام من ٢-أمينوفلورين وهي مسبب معروف للسرطان. تسبب تأثير المادة في اعادة اكتساب الكثير من البكتيريا لقدرتها على النمو بدون هستيدين وتكوين مستعمرات حول القرص. المستعمرات المتأثرة بالقرب من حافة الطبق تمثل بكتيريا مرتدة تلقائيا (أعيدت طباعته بتصریح من ب. ن. إيمز و ج. مكان و إي. ياماساكي - مجلة بحوث الطفرة : ٣١ : ٣٤٧ - ١٩٧٥).

فان الجين المتطفر في بعض الكائنات سوف يرتد في طفرته ويصبح مرة أخرى فعال وظيفيا. هذه الكائنات المرتدة revertants تكون قادرة على النمو في وسط غذائي ينقصه الهستيدين (الشكل ١٢-٢١) وهو دليل واضح على أن الطفرة قد حدثت.

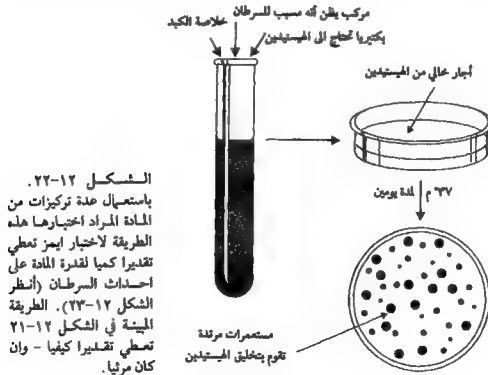
وقد عرف منذ عدة سنوات أن الكثير من المواد الكيميائية ليست مسببة للطفرة عندما تدخل في عمليات الأيض بالجسم. هذا التحول غالبا ما يتم في الكبد ولهذا السبب يشتمل اختبار إيمز على خليط من أنزيات الكبد (الشكل ١٢-٢١).

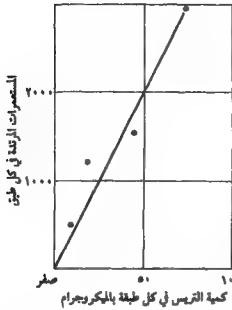
و بفضل العدد الكبير من الكائنات المستعملة و سرعة نموها يمكن إنجاز اختبار إيمز في يومين وبتكاليف قليلة للغاية. وقد تبين حتى الآن أن حوالي ٩٠٪ من المركبات التي سبق أن ثبت أنها مسببة للسرطان تكون مسببة للطفرة في اختبار إيمز. بالإضافة الى ذلك فان عددا من المواد الكيميائية التي لم يشك فيها أحد من قبل كمسببات للسرطان قد أعطت نتائج إيجابية عند اختبارها وفيها بعد تبين أن بعضها قادر على

أحداث السرطان في الحيوانات المعملية. في السبعينيات إرتدى ملايين الأطفال بيجامات وملابس نوم معالجة بهادة مضادة للحريق تسمى تريس Tris وقد أدى ثبوت أن هذه المادة مسبب قوي للطفرة في اختبار إيمز إلى سحبها من الأسواق وكذلك تم سحب بعض المواد التي تضاف إلى الأغذية وبعض مكونات مستحضرات التجميل بعد أن ثبت نشاطها في اختبار إيمز.

من الواضح أنه لا بد لنا من تجنب التعرض غير اللازم لمسببات الطفرة. ومن ناحية أخرى فإن اهتمامنا الحقيقي كمواطنين لا ينبغي أن يعمينا عن تقدير ما للطفرات من أهمية أحيائية في إحداث التطور وكأداة في غاية الأهمية في اكتشاف المزيد عن علم الوراثة وما اكتشاف الارتباط مع الكروموسوم X الذي ناقشناه في الباب السابق إلا مثال واحد لدور الجينات المتطفرة في توضيح آليات التوارث.

كذلك كان للجينات المتطفرة أهمية كبيرة في التوصل إلى مفاتيح للطرق التي تنتج بها الجينات الطرز المظهرية. فالعيون الحمراء والأغلفة عديدة التسكر والدم الذي لا يتجلط والاندوسبرم الشمعي وغيرها لا تتكون من الحامض DNA وإنما هي ببساطة تعبير





الشكل ١٢-٢٣. قدرة مادة تريسين [تريسين (٢)، ٣-ثنائي برومويروبيل] فوسفات] على أحداث الطفرة وهي مادة مقاومة للحريق كانت تستعمل بكثرة في صنع بيجاسمات الأطفال في السيمينيات. عدد المستمرات المرتدة يتناسب تناسب طردي مع كمية التريسين المضافة الى كل طبق. أدت مثل هذه النتائج الى سحب للملابس التي يدخل التريسين في تصنيعها من الأسواق (عن أ. بلوم و ب. د. إيمز - ساينس ١٩٥: ١٧-١٩٧٧).

عن نشاط الجينات. ولا تكتمل مناقشة علم الوراثة إلا بالتعرض للخطوات التي ينتج طراز جيني معين بها طرازاً مظهرياً معيناً. هذا هو موضوع الباب التالي.

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

تكون المعلومات الوراثية في جميع الكائنات تقريباً محمولة على جزيئات الحامض DNA (قلة من الفيروسات تستعمل الحامض RNA بدلاً منه). جزيئات الحامض DNA هي بلمرات خطية غير متفرعة من الذي أوكسي ريبونوكليوتيدات. ويوجد من هذه الذي أوكسي ريبونوكليوتيدات أربعة أنواع تختلف فيما بينها في نوع القاعدة النيتروجينية المتصلة بكل منها. القواعد الأربعة هي البيورينات أدينين و الجوانين والبيريميدينات سيتوزين و ثايمين. السلسلة الواحدة عديدة النيوكليوتيد في الحامض DNA قد تحتوي على عدة ملايين من النيوكليوتيدات.

يوجد الحامض DNA في أغلب الخلايا على هيئة حلزون مزدوج : سلسلتان عديداً النيوكليوتيد ملتفتان حول بعضهما. في أكثر صور الحامض إنتشاراً - وهو يسمى B-DNA - يكون في كل لفة كاملة عشر نيوكليوتيدات وطولها ٣٤ وحدة أنجستروم بينما يبلغ قطر الحلزون المزدوج ٢٠ وحدة أنجستروم والسلسلتان في الحلزون المزدوج تحريان

في اتجاهين متضادين متوازنين : الاتجاه ٥ ← ٣ لأحدى السلسلتين يكون مضادا للاتجاه ٣ ← ٥ . للسلسلة المكمل لها .

تضاعف الحامض DNA يكون نصف محافظ أي أن كل حلزون مزدوج يتم تخليقه حديثا يحتوي على سلسلة كاملة من الجزئي الأبوي وسلسلة حديثة التخليق . تخليق سلسلة جديدة يتطلب نظاما معقدا من الأنزيمات يشتمل على نوعين على الأقل من إنزيمات بلمرة الحامض DNA . ويكون تخليق كل سلسلة جديدة باستعمال سلسلة أبوية كقالب أي أن القواعد الأربعة تتراكم في السلسلة الجديدة بنظام مكمل لنظام وجودها في السلسلة الأبوية المطلوب نسخها (الأدين مع الثايمين والسيوزين مع الجوانين . . . إلخ) . الجينات في الكائنات بدائية النواه مثل بكتيريا القولون يشملها جزيء واحد من الحلزون المزدوج للحامض DNA الذي يأخذ شكل دائرة مغلقة . توجد جينات الكائنات حقيقية النواه على كروموسوم يحتوي على جزيء واحد من الحامض DNA يكون مرتبطا مع أنواع متباينة من البروتينات .

تحتوي جميع الخلايا على وسائل إنزيمية لأصلاح التلف الذي قد يحدث في الحامض DNA . ويتضمن الإصلاح الناجح إحلال نيوكليوتيدات صحيحة محل تلك التالفة أو غير الصحيحة حسب الأسس الراسخة لأزدواج القواعد . الفشل في اصلاح الحامض DNA يؤدي الى حدوث الطفرة . الأشعاع المؤين مثل الأشعة السينية وكذلك العديد من المواد الكيميائية ترفع معدل تلف الحامض DNA وبالتالي حدوث الطفرة .

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - كم عدد تجمعات القواعد المختلفة يمكن أن يوجد في جزيء DNA به ١٥٠ قاعدة؟
- ٢ - في أي اتجاه - مع عقارب الساعة أو ضد عقارب الساعة - يكون جزيء الحامض DNA عندما تنظر خلاله من إحدى نهايتيه؟ وعندما تنظر خلاله من النهاية الأخرى؟
- ٣ - كم عدد قواعد السيوزين الموجودة في جزيء DNA به ١٠٠٠ من أزواج القواعد إذا كان ٢٠٪ من قواعد الجزئي من الأدينين؟

٤ - تحتوي خلية الطحال في العجل على ٦,٨ بيكوجرام ( $10^{-12}$  جم) من الحامض DNA فإذا كان هذا الحامض موجودا كجزيء واحد فما هو وزن الجزيئي بالدالتون؟ (هناك تقريبا  $6 \times 10^9$  جزيء في المول). إذا كان الوزن الجزيئي لكل زوج من القواعد هو ٧٠٠ دالتون فما هو طول هذا الجزيء؟ وما هو سمكه؟

## REFERENCES

## المراجع

1. CRICK F.H.C. "Nucleic Acids", Scientific American. Offprint No. 54, Septmeber, 1957. The author shared a Nobel prize for his work in deducing the organization of nucleic acid molecules.
2. HOTCHKISS, R.D., and ESTHER WEISS, "Transformed Bacteria," Scientific American. Offprint No. 18 November, 1956. The alteration of bacterial heredity by treatment with DNA is described in detail.
3. TAYLOR, J.H. "The Duplication of Chromosomes," Scientific American Offprint No. 60, June, 1958. Attempts to relate the structure of DNA to the structure of chromosomes.
4. HANAWALT, P.C. and R.H. HAYNES, "The Repair of DNA," Scientific American. Offprint No. 1061. February, 1967. Describes how bacteria are able to exploit the complementarity of the two strands of DNA in the repair of damage to the molecule.
5. DEVORET, R., "Bacterial Tests for potential Carcinogens," Scientific American, Offprint No. 1433, August, 1979. Describes the Ames test as well as tests devised by the author.
6. HOWARD-FLANDERS, P., "Inducible Repair of DNA," Scientific American Offprint No. 1503, November, 1981.
7. UPTON, A. C., "The Biological Effects of Low-level Ionizing Radiation," Scientific American. Offprint No. 1509, February, 1982.

## CHAPTER 13

## الباب الثالث عشر

### GENE EXPRESSION

### التعبير عن الجينات

THE ONE GENE -	١-١٣ . نظرية جين واحد -
ONE ENZYME THEORY	إنزيم واحد
INBORN ERRORS OF METABOLISM	٢-١٣ . أخطاء داخلية في الأيض
ABNORMAL HEMOGLOBINS	الهيموجلوبينات الشاذة
PROTEIN SYNTHESIS	٣-١٣ . تخليق البروتين
THE RIBONUCLEIC ACIDS OF THE CELL	أحماض الريبونوكليك في الخلية
TRANSCRIPTION	النسخ
TRANSLATION	الترجمة
THE CODE	٤-١٣ . الشفرة
MUTATIONS	الطفرات
MULTIPLE ALLELES	٥-١٣ . الجينات المتضادة المتعددة
VERIFICATION OF THE CODE	٦-١٣ . تأكيد الشفرة
THE ACTION OF THE TOTAL GENOME	٧-١٣ . فعل الطراز الجيني الكلي
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل
REFERENCES	المراجع





## الباب الثالث عشر

### التعبير عن الجينات

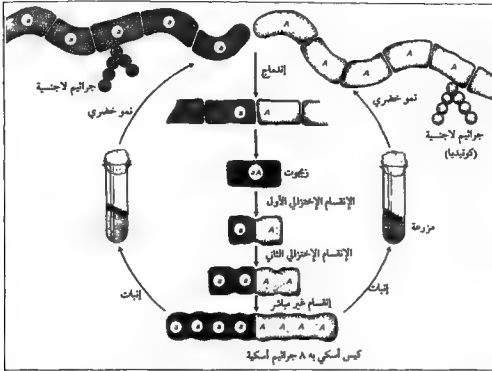
١٣-١ . نظرية جين واحد - إنزيم واحد

#### THE ONE GENE - ONE ENZYME THEORY

نمت معلوماتنا عن فعل الجينات من دراسات عالمي الوراثة ج. و. بيدل وأي. ل. تاتم على فطر عفن الخبز الأحمر *Neurospora* وهو ملائم بصفة خاصة للدراسات الوراثية ودورة حياته موضحة في الشكل ١٣-١. مثل كل الفطريات فهو يتجج جراثيم أو أبواغا spores والجراثيم عبارة عن أجسام ضئيلة وحيدة الخلية تعمل على إنتشار النوع الى أماكن جديدة وتمكنه من التغلب على الظروف البيئية غير المواتية. وتستطيع كل جرثومة أن تنمو لتعطي فردا جديدا.

فطر نيوروسبورا ينتج نوعين من الجراثيم: الجراثيم اللاجنسية (أو الكونيديا conidia) تنتج بطريقة الانقسام غير المباشر للأنوية النشيطة أحادية العدد الكروموسومي للفطر. أما الجراثيم الزقية أو الأسكية ascospores فانها تنتج من التكاثر الجنسي sexual reproduction فاذا سمح لنوعين تزاوجيين (جنسين) من النيوروسبورا بالنمو معا فانها يندمجان لتكوين زيجوت ثنائي العدد الكروموسومي. ويعمل الانقسام الاختزالي للزيجوت على إنتاج جراثيم زقية أحادية العدد الكروموسومي.

لاحظ إذن أن الكائن يقضى معظم دورة حياته في الحالة أحادية العدد الكروموسومي وعلى ذلك يكون كل جين موجود بصورة مفردة وليس على عالم الوراثة أن يقلق بسبب إحتجاب جينات متنحية بسبب وجود جينات سائدة. ميزة أخرى هي أن الانقسام الاختزالي يحدث في أنبوبة ضيقة هي الكيس الزقي (أو الكيس الأسكي)

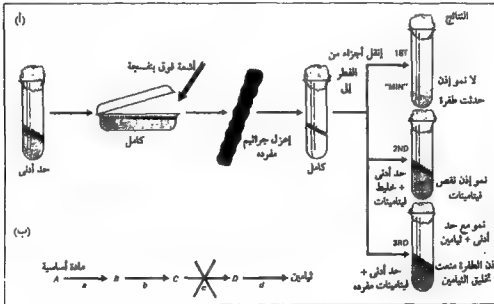


الشكل ١٣-١. دورة حياة فطر نيوروسبورا. التوزيع المين هنا للجينات المضادة  $a$  و  $A$  يحدث فقط إذا لم يحدث تبادل في هذا المكان أثناء عملية العبور في الإنقسام الإختزالي الأول.

ascus وهذه الأنسوبة ضيقة بدرجة تكفي لمنع الأنوية الثمانية الناتجة من الانقسام الإختزالي الأول ثم الثاني ثم إنقسام غير مباشر من الأنزلاق على بعضها البعض. يترتب على ذلك أنه إذا كانت النواه ثنائية العدد الصبغي الأصلية متباينة اللاحقة بالنسبة لجينين متضادين ( $A, a$ ) وأنه لم يحدث عبور في هذا الموقع فإن الجينين ينفصلان عن بعضهما في الانقسام الإختزالي الأول. وبعد الانقسامين التاليين فإن الكيس الزقي يكون به أربع جراثيم تحتوي على أحد الجينين عند أحد طرفية وأربع جراثيم تحتوي على الجين الآخر عند طرفه الثاني. (ماذا يكون النمط إذا حدث عبور في الانقسام الإختزالي الأول؟).

يمكن زراعة النيوروسبورا في أنابيب اختبار تحتوي على وسط غذائي بسيط للغاية (أي به أحد الأدنى). كل ما هو مطلوب لحياة ونمو وتكاثر النيوروسبورا هو السكر وز قليل من الأملاح وفيتامين واحد هو البيوتين. ويستطيع النيوروسبورا من هذه المواد القليلة البسيطة أن يقوم بتخليق كل المواد العديدة المعقدة اللازمة للحياة مثل

البروتينات والأحماض النووية . قام بيدل وتاتم بتعريض بعض الجراثيم اللاجنسية من نيوروسبوراً للأشعة فوق البنفسجية على أمل إحداث الطفرات . ثم سمحاً للجراثيم الفردية المشعة بالأنبات على وسط «كامل» أي به فيتامينات وأحماض أمينية عديدة . وبمجرد أن أعطت كل جرثومة نمواً قوياً سمح لها بالتزاوج مع النوع التزاوجي الآخر . تم إستخراج الجراثيم الزقية الناتجة كل على حدة ثم وضعت كل منها على كمية إضافية من الوسط الكامل . وبعد حدوث النمو أخذت من كل مزرعة ثم وضعت على وسط غذائي به الحد الأدنى (الشكل ١٣-٢) . في بعض الأحيان إستمر النمو وفي البعض الآخر توقف . الحالات التي توقف فيها النمو تم إمداد السلالة المعنية بالعديد من الفيتامينات والأحماض الأمينية وغيرها حتى إستؤنف النمو . وفي النهاية وجد أن كل سلالة ناقصة يمكنها النمو على وسط به الحد الأدنى بعد إضافة مادة واحدة مكملة إليه مثل الفيتامين ثيامين  $thiamine$  . وقد فكر بيدل وتاتم في أن الأشعة فوق البنفسجية قد أحدثت طفرة في جين يسمح بتخليق الثيامين وحولته إلى الجين المضاد الذي لا يسمح بذلك .



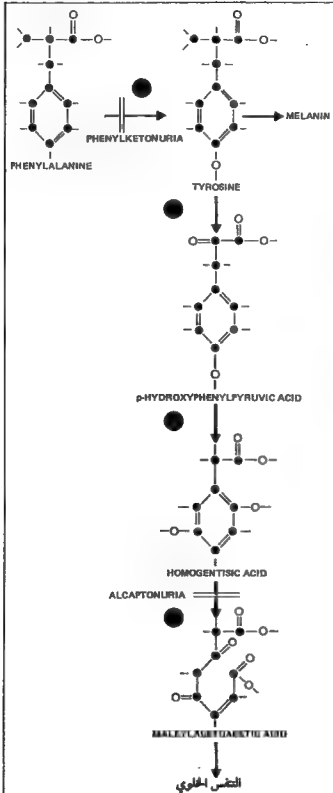
الشكل ١٣-٢ . (أ) تجارب بيدل وتاتم و (ب) الافتراض . التهجين بين سلالة متطفرة وسلالة عادية أوضح أن القدرة على تحويل للمادة الأساسية للثيامين C إلى D يتحكم فيها جين واحد . من المحتمل أن الجين المتطفر لم يتمكن من إنتاج الإنزيم اللازم . الوسط الكامل أضيفت إليه فيتامينات وأحماض أمينية أما وسط الحد الأدنى فلم تضاف إليه هذه المواد .

تصنيع الثيامين من المواد البسيطة الموجودة في الوسط ذي الحد الأدنى لا يتم في تفاعل كيميائي واحد ولكن يمر بسلسلة طويلة من هذه التفاعلات. ومثل كل التفاعلات الكيميائية في الكائنات الحية فإن كل تفاعل يحفز إنزيم خاص وعند إضافة المواد البسيطة في عملية تصنيع الثيامين واحدة بواحدة إلى الوسط الذي ينمو عليه الفطر تمكن بيدل وتاتم من تحديد الخطوة التي تعطلت في عملية تخليق الثيامين في السلالة المتطفرة (الشكل ١٣-٢). فإذا أضفنا أي مادة وسيطة تدخل في عملية التخليق بعد هذه الخطوة إلى الوسط ذي الحد الأدنى كان النمو يحدث. وأي مادة وسيطة تدخل قبل هذا التفاعل المعطل لم تسمح بالنمو. وقد فكرا في أن التغير من المادة البسيطة "C" إلى المادة الوسيطة "D" قد توقف بسبب غياب الأنزيم الخاص. وعلى هذا الأساس فقد قالا بنظرية جين واحد - إنزيم واحد لتفسير فعل الجينات: كل جين في الكائن ينظم إنتاج إنزيم خاص. وهذه الأنزيمات هي التي تقوم بكل النشاطات الأيضية في الكائن مما يؤدي إلى ظهور تركيب وفسولوجيا مميزة له - أي الطراز المظهري للكائن.

### ١٣-٢. أخطاء داخلية في الأيض INBORN ERRORS OF METABOLISM

القت إكتشافات بيدل وتاتم ضوءا جديدا على عدد من أمراض الإنسان المعروفة بأنها وراثية. سميت هذه الأمراض بالأخطاء الداخلية في الأيض لأنها وراثية ولأن كل منها يتميز بعيب معين في الأيض. أحد هذه الأمراض هو البول الأسود alcaptonuria وهو نادر نسبيا والعرض الأساسي فيه هو تحول بول المريض إلى اللون الأسود عند تعرضه للهواء. وقد أوضحت الدراسات أن المرض يحدث عندما يغيب الأنزيم الذي يحفز تحول حامض الهوموجنتيسيك homogentisic إلى حامض ماليل أستوخليك maleylacetoacetic acid (الشكل ١٣-٣) من جسم الإنسان. هاتان المادتان هما من بين المواد البسيطة في عملية تكسير الحامض الأميني فينيل ألانين phenylalanine إلى مركبات يمكن أن تدخل في مسار التنفس الخلوي. وعندما تتوقف الخطوة رقم ٤ يتراكم حامض الهوموجنتيسيك في الدم وعندما يتأكسد حامض الهوموجنتيسيك بفعل الهواء يتحول البول إلى اللون الأسود.

خطأ داخلي آخر في الأيض يسمى فينيل كيتونيوريا phenylketonuria (PKU) وينشأ عن تعطل الخطوة رقم ١. في هذه الحالة يتسبب العجز عن إزالة الفينيل الانين



الشكل ١٣-٣. مسار  
أبيض الفينيل ألانين في  
الإنسان. الفينيل ألانين  
الزائد عن حاجة الجسم  
لتخليق البروتين يتم تكسيره  
كما هو موضح هنا ويستعمل  
في التنفس الخلوي. ضحايا  
الفينيل كيتونوريا ينقصهم  
إنزيم (١) الذي يحول  
الفينيل ألانين إلى الحمض  
الأميني تيروسين. ضحايا  
البول الأسود ينقصهم  
الإنزيم (٤). ذوات  
الكربون ملونة وذرات  
النيتروجين سوداء وذرات  
الهيدروجين عملة بخطوط  
قصيرة.

الزائد من الدم - أثناء الطفولة - في نقص خطير في مستوى الذكاء (معظم المصابين لابد من إيداعهم بالمصححات العقلية) والجلد الباهت والميل الى الثوبات العصبية . وقد يتج لون الجلد الباهت من نقص مادة التيروسين tyrosine التي تتكون منها مادة الميلانين melanin (المستولة عن لون الجلد والنمش freckles). البول الأسود والفينيل كيتونيوريا هما صفتان متنحيتان . وعلى المرء أن يرث الجين المعيب من كل من أبويه حتى تظهر عليه الصفة وهذا يتمشى تماما مع نظرية جين واحد - إنزيم واحد : طالما أن جين واحد غير متطفر موجود فإن الأنزيم اللازم سوف يتم تصنيعه .

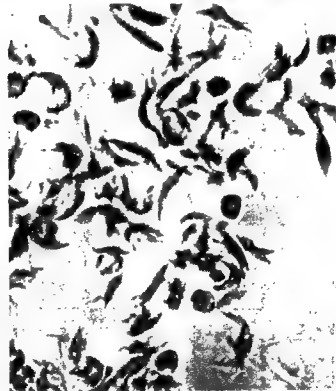
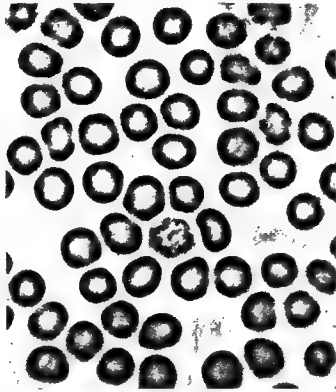
#### ABNORMAL HEMOGLOBINS

#### الهيموجلوبينات الشاذة

ربما كانت أكثر الأمراض الوراثية دراسة وتحليلا هي التي تنتج فيها جزيئات هيموجلوبين شاذة . الهيموجلوبين هو الصبغة الحمراء حاملة الأوكسجين الموجودة في خلايا الدم الحمراء . يتكون كل جزيء هيموجلوبين من أربع سلاسل عديدة الببتيد إثنان منها ألفا وإثنان بيتا ويكل منها مجموعة هيم heme محتوية على الحديد الذي يتصل به مؤقتا جزيء الأوكسجين المطلوب نقله . سلسلة الفا تحتوي على ١٤١ حامض أميني وسلسلة بيتا تحتوي على ١٤٦ حامض أميني .

الهيموجلوبين العادي في الإنسان البالغ يعرف بأسم هيموجلوبين أ ( $Hb^A$ ) ومع ذلك فقد أمكن إكتشاف ما يربو على ٢٠٠ نوع من الهيموجلوبينات الشاذة في البشر . أكثر هذه الهيموجلوبينات إنتشارا هو هيموجلوبين س ( $Hb^S$ ). الأفراد الذين ينتجون الهيموجلوبين س يعانون من مرض يسمى فقر الدم المنجلي أو أنيميا الخلايا المنجلية sickle-cell anemia. هذا المرض منتشر في المناطق الميوءة بالملايا في أواسط أفريقيا وكذلك بين الزوج الأمريكيين المنحدرين عن سكان هذه المناطق . ويكتسب هذا المرض إسمه من أن خلايا الدم الحمراء في ضحاياها تكون هلالية أو منجلية الشكل خاصة أثناء مرورها في الشعيرات الدموية (الشكل ١٣-٤). الخلايا المشوهة تكون هشة للغاية في هذا الوقت ويسهل تمزقها قبل إنقضاء مدتها العادية (حوالي ١٢٠ يوم) . ويترب على ذلك أن ضحاياها هذا المرض يعانون من الأنيميا الحادة التي عادة ما تكون قاتلة .

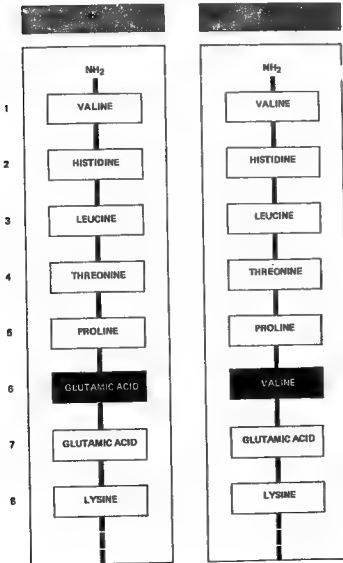
يرث ضحايا الأنيميا المنجلية جينا من كل واحد من الأبوين . أما الأفراد الذين



الشكل ١٣-٤ . خلايا  
الدم الحمراء لأحد ضحايا  
الأنيميا المنجلية . أعلى:  
أعطيت أوكسجين . أسفل:  
حرمت من الأوكسجين .  
شكل الخلايا عندما تحرم من  
الأوكسجين يجعلها سهلة  
الكسر . (بتصريح من  
الدكتور أنتوني م.  
اليسون).

يرثون جينا معيبا واحدا فقط فيكون لديهم  $Hb^s$  و  $Hb^A$  في خلايا الدم الحمراء ولا يكون ذلك ضارا بالكامل في الولايات المتحدة الحالية من الملاريا بينما تكون الحالة متباينة اللاحقة ( $Hb^s$  و  $Hb^A$ ) مفيدة بالتأكيد في المناطق التي تنتشر فيها الملاريا في أفريقيا إذ يبدو أنها تكسب صاحبها قدرا من المقاومة لأحد أنواع الملاريا. وقد يفسر ذلك لماذا يعم الجين المتطفر والمرض المناطق التي تنتشر فيها الملاريا في أفريقيا.

نم تحديد تتابع الأحماض الأمينية في كل من  $Hb^s$  و  $Hb^A$  وقد تبين أن سلاسل الفا متطابقة تماما في كل نوع من الهيموجلوبين وكذلك كانت السلاسل بيتا ما عدا الحامض



الشكل ٥-١٣. أجزاء  
النهايات ن في الهيموجلوبين  
العادي (Hb) وهيموجلوبين  
الخلايا المنجلية (Hb)



الأميني في الموقع رقم ٦ (يبدأ العدد دائما من النهاية الأمينية). هذا المكان يشغله حامض الجلوتاميك glutamic acid في السلال بيتا للهيموجلوبين العادي  $Hb^A$  أما في سلاسل بيتا بالميموجلوبين  $Hb^S$  فيوجد الفالين valine بدلا منه (الشكل ١٣-٥).

أما لماذا يغير هذا الاستبدال المفرد لحامض أميني كل هذا التغير الضخم في خصائص الهيموجلوبين منزوع الأوكسجين فذلك ما يزال تحت دراسة عميقة. ومع ذلك تجدر الملاحظة هنا أنه بالانتقال من حامض الجلوتاميك الى حامض الفالين يكون قد تم إحلال جزيء كاره للماء بشدة محل جزيء محب للماء بشدة. الموقع رقم ٦ يوجد عند سطح السلسلة بيتا حيث يكون عادة معرضا للماء وربما كان هذا التحول من منطقة محبة للماء الى منطقة كارهة للماء على السطح هو الذي يغير من القابلية العادية لجزيء الهيموجلوبين للدويان.

وفي جميع حالات الهيموجلوبينات الشاذة الأخرى التي إكتشفت تقريبا يكون الحلل في صورة إحلال حامض أميني واحد عند نقطة ماعلى السلسلة ألفا أو على السلسلة بيتا. كل سلاسل ألفا الشاذة تنتج عن طفرات في جين واحد أما السلاسل بيتا المتباينة فتمثل طفرات مختلفة في جين آخر. وعلى ذلك فإنه يمكن الان إعادة صياغة نظرية جين واحد - إنزيم واحد بحيث تصبح «جين واحد - عديد الببتيد واحد». هذا التعديل يتوافق تماما مع الاعتقاد الحالي بأنه ليست الأنزيمات فقط ولكن جميع البروتينات المصنعة داخل الخلية (مثل : البروتينات التركيبية مثل الكولاجين) هي نواتج نشاط الجينات.

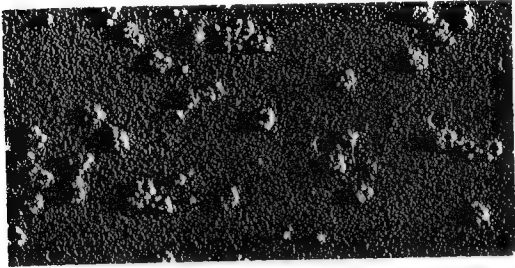
### PROTEIN SYNTHESIS

### ١٣-٣. تخليق البروتينات

استنتج بيدل وتاتم أن المعلومات المشفرة في الجين تحدد التعبير عنها في تتابع الأحماض الأمينية في عديد الببتيد. ماهي إذن الآلية التي يؤدي بها تتابع معين للنوكليوتيدات في الحامض DNA الى تتابع معين للأحماض الأمينية؟

### THE RIBONUCLEIC ACIDS OF THE CELL الخلية الأحماض الريبونوكليوية في

يتم تخليق البروتينات على تجمعات من دقائق سيتوبلازمية ضئيلة (حوالي ٢٠ نانومتر) تسمى الريبوسومات (الشكل ١٣-٦). هذه الدقائق هي تجمعات



١٣-٦. صورة بالمجهر الإلكتروني توضح تجمعات الريبوسومات. هذه التجمعات - التي تسمى بوليوسومات - تتأسك مع بعضها بواسطة الحامض mRNA (بتصريح من الكسندر ريتش).

الجزئيات. يتكون كل ريبوسوم من نحت وحدتين إحداهما كبيرة والأخرى صغيرة. أما الصغيرة فتحتوي على جزيء واحد من الحامض rRNA. في الكائنات حقيقية النواة يسمى هذا الجزيء RNA "18S" بسبب معدل ترسيبه في أنبوبة جهاز الطرد المركزي (الشكل ١٣-٧) وبالإضافة إلى ذلك يرتبط حوالي ٣٠ بروتين بالتحت وحدة الصغيرة.

تحتوي التحت وحدة الكبيرة في ريبوسومات الكائنات حقيقية النواة على نسخة واحدة من كل من الجزئيات الثلاثة المختلفة من rRNA (والتي يرمز لها بالرموز 28S, 5.8S, 5S, الشكل ١٣-٧). ويرتبط مع هذه جزئيات لحوالي ٤٥ بروتين.



الشكل ١٣-٧. نمط الترسيب الناتج من الطرد المركزي عالي السرعة للحامض RNA المستخلص من كرات الدم الحمراء للأرنب. الشرائط الملحقة تمثل رتب معينة من الحامض RNA. الحامض الناقل rRNA يظهر عند حوالي 4S. أحماض RNA الريبوسومية لحقيقيات النواة تترسب عند 28S, 18S, 5.8S, 5S (كلها زادت وحدة الترسيب S كلما كان الجزيء أكبر - ولكن ليس بنفس النسبة). الحامض RNA الذي يكون الطبقة 9S هو الحامض mRNA الخاص بتخليق الهيموجلوبين وهو البروتين الرئيسي الذي تنتجه هذه الخلايا. في معظم الخلايا الأحماض mRNA تكون غير متجانسة مع كميات صغيرة منها موزعة بين 6S وحتى 25S.



الشكل ١٣-٨.

صورة بالمجهر  
الالكتروني  
توضح نسخ  
الجينات في بيئة  
سمندل الماء  
المربط. الخيوط  
الطويلة هي  
جزئيات  
الحامض DNA  
المختلفة  
بالبروتين.  
الألياف المتعة  
في تجمعات من  
المحاور الرئيسية  
هي جزئيات  
الحامض RNA  
التي تتكون منها  
ريبوسومات  
الحالية. لاحظ  
كيف يبدأ النسخ  
عند إحدى  
نهايات كل جين  
مع تزايد طول  
جزئيات RNA  
كلها. قاربت  
الاحتلال. لاحظ

لكللك العدد الكبير (حتى ١٠٠) من جزئيات RNA المنسوخة في نفس الوقت من كل جين. أجزء  
الحامض DNA العارية من الحامض RNA يبدو انها غير نشطة وراثيا. (بتصريح من أ. ل. ميلر  
الصغير وباربارة ب. بيبي. قسم علم الأحياء - المعمل القومي أوك ريدج).

في الكائنات حقيقية النواة يتم تخليق جزئيات حامض الريبونوكليك الريبوسومي  
في النوية nucleolus باستخدام قوالب الحامض DNA (أي الجينات) وهناك عدة نسخ  
من الجينات لكل نوع من الحامض rRNA (الشكل ١٣-٨). وفي الإنسان يمتثل أن  
تكون الجينات الخاصة بأخف الأحماض rRNA (وهو 5S) موجودة على الكروموسوم رقم  
١ (الشكل ١١-٢٢).

إذا قمنا باستخلاص الحامض RNA من خلية فان معظمة يقع في واحدة من عدة مجموعات حجمية محددة (الشكل ١٣-٧). وكما رأينا فان الحامض RNA يوجد (في حقيقيات النواة) على هيئة جزيئات 28S, 18S, 5.8S, 5S. تتكون مجموعة محددة أخرى مما يسمى أحماض ريبونوكلييك الناقلة (tRNA). ترسب هذه الجزيئات عند مستوي حوالي 4S (وهذا يقابل أوزان جزيئية تتراوح ما بين ٢٣٠٠٠ و ٣٠٠٠٠).

بالأضافة الى هذه المراتب المحددة من الحامض RNA هناك كمية قليلة منه تكون شديدة التباين في الحجم فهي ترسب عند مستوي يتراوح بين 25S, 6S ولها أوزان جزيئية تتراوح ما بين ٢٥٠٠٠ الى مليون. وأغلب الخلايا تحتوي على كميات قليلة من هذه المادة. ومع ذلك فان الخلايا التي تنشط في تخليق كميات كبيرة من بروتين واحد قد تحتوي على كميات كبيرة من حامض RNA خاص يختلف في حجمه عن أي واحد من الأحماض rRNA أو tRNA. فمثلا خلايا الدم الحمراء في الأرنب التي تقوم بتخليق الهيموجلوبين تحتوي على كميات ضخمة من الحامض RNA (الشكل ١٣-٧). إذا عزلنا هذا الحامض ثم قمنا بحفنه في بيضة صفدة فان الصفدة تبدأ في تخليق هيموجلوبين الأرنب. هذه الطبقة فقط من هيموجلوبين الأرنب هي الوحيدة القادرة على إعطاء التعليمات لبيضة الصفدة لكي تقوم بتخليق هيموجلوبين الأرنب. وبسبب هذا الدور فقد سمي هذا الحامض RNA باسم المراسل messenger RNA (mRNA).

## TRANSCRIPTION

## النسخ

يقود الحامض DNA عملية تخليق الحامض المراسل mRNA (وكذلك الحامض الناقل tRNA والحامض الريبوسومي rRNA — أنظر الشكل ١٣-٨) بطريقة تشبه الى حد كبير قيادته لمضاعفة نفسه (أنظر القسم ١٢-٣). هناك إنزيم يسمى RNA polymerase يرتبط بمواقع معينة على الحامض DNA ويفصل سلسلي الحلزون المزدوج ثم يأخذ في قراءة احدي السلسلتين (في الاتجاه ٣' ← ٥') وفي أثناء ذلك يقوم بتجميع ريبونوكليوتيدات ribonucleotides (وهذه تكون موجودة في الوسط المحيط في صورة ثلاثي الفوسفات مثل ATP) على هيئة خيط من الحامض RNA

الذي يكون تتابع القواعد فيه مكملًا تمامًا لتتابع القواعد في جزيء الحامض DNA - أي أنها تتجمع حسب الأسس المعروفة لازدواج القواعد. لكل سيتوزين على سلسلة DNA التي يجري نسخها تنحشر قاعدة جوانين في سلسلة mRNA ولكل جوانين في سلسلة DNA تنحشر قاعدة سيتوزين في سلسلة mRNA. الخ. تقود رواسب الأدينين الموجودة على سلسلة الحامض DNA عملية غرس نيوكليوتيدة محتوية على قاعدة يوراسيل (uracil (u (لا يوجد ثايمين في الحامض RNA) عملية إعداد نسخة من الحامض DNA في صورة سلسلة مكملية من الحامض RNA تسمى عملية النسخ transcription.

تتقدم عملية تخليق جزيئات الحامض RNA في الاتجاه ٥' ← ٣'. ويعمل ربط النيوكليوتيدات على إطلاق كميات كبيرة من الطاقة الحرة لأن مجموعتي الفوسفات الطرفيتين في كل نيوكليوسيد ثلاثي الفوسفات تنفصلان مع إضافة النيوكليوتيد إلى الخيط المتزايد. وقد تذكر أن روابط الفوسفات الطرفية وما قبل الطرفية في النيوكليوسيد ثلاثي الفوسفات (مثل ATP) تسمى روابط عالية الطاقة High energy.

هناك أدلة عديدة على تخليق الحامض mRNA على قالب من الحامض DNA. ولتذكر مثال واحد منها. فعند امداد خيط تخليقي من الحامض DNA لا يحتوي الا على نيوكليوتيدات بها ثايمين فقط (أي عديد الثايمين Poly T) بكل الأنواع الأربعة من النيوكليوتيدات (GTP, ATP, UTP, CTP) وانزيم بلمرة الحامض RNA يتكون جزيء من الحامض RNA يحتوي على الأدينين فقط في الخيط (عديد الأدينين poly A).

## TRANSLATION

## الترجمة

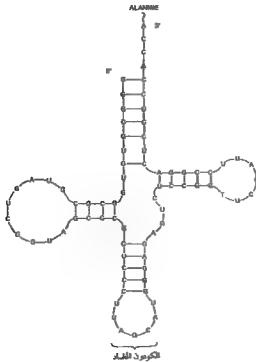
يستغل نسخ وتضاعف الحامض DNA التكاملي بين النيوكليوتيدات. ولكن ليست هناك علاقة مباشرة شبيهة بذلك بين تركيب النيوكليوتيدات وتركيب الأحماض الأمينية كيف يحدد إذن تتابع معين من النيوكليوتيدات حامض أميني معين؟ هذا يتطلب نوع ثالث من الحامض RNA يسمى الحامض RNA المراسل (mRNA messenger RNA).

هناك على الأقل نوع واحد من جزيئات الحامض tRNA لكل واحد من الأحماض الأمينية العشرين المستخدمة في تخليق البروتينات (بعض الأحماض الأمينية تحتاج إلى نوعين أو ثلاثة أنواع من جزيئات الحامض tRNA). كل نوع من الحامض tRNA يتعرف

على ويتحد مع نوع واحد من الأحماض الأمينية . وفي كل حالة يتم تنشيط الحامض الأميني وإتصاله بجزء الحامض tRNA المناسب بواسطة إنزيم منشط خاص بهذا الحامض الأميني ويقوم ATP بأمداد طاقة التنشيط .

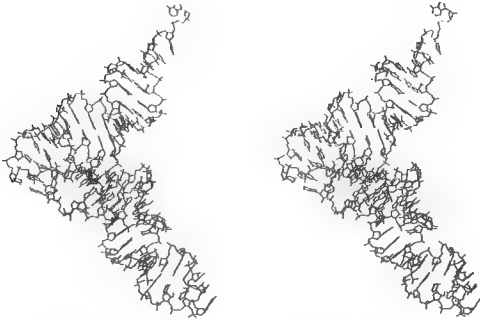
كذلك يقوم كل نوع من الحامض tRNA بالتعرف على والاتحاد مع تتابع خاص من النيوكليوتيدات الموجودة على جزيء الحامض mRNA وهو ما يسمى الكودون codon هذا الاتحاد النوعي بين كل نوع من الحامض tRNA مع حامض أميني معين ومع كودونات معينة يجعل المعلومات المشفرة في تتابع الريبونوكليوتيدات يترجم الى تتابع محدد للأحماض الأمينية .

تم تحديد تركيب العديد من جزيئات الحامض tRNA . يتكون كل منها من سلسلة بها ٧٣-٩٣ من الريبونوكليوتيدات (الشكل ١٣-٩) و العديد منها هو نيوكليوتيدات الحامض RNA العادية (أي التي تحتوي على الأدينين - اليوراسيل - الجوانين والسيتوزين) وتقوم القواعد في أماكنها بربط قطعتين من السلسلة على هيئة



الشكل ١٣-٩. تركيب الحامض RNA الناقل للألانيين في الخميرة. الأجزاء الأربعة الحلزونية المكونية بازدياد القواعد مبيتة. العروة على اليسار يظن انها تتعرف على (وترتبط مع) الانزيم الذي يحفز الاتصال (بواسطة رابطة عالية الطاقة) بين الألانيين والجزء (أعلى) عروة الكودون المضاد تحمل القواعد الثلاث التي تتعرف على الكودون المناسب على الحامض mRNA. العروة الموجودة في الجزء الأيمن قد تكون مشغولة من الارتباط المؤقت بين جزيء الحامض RNA و الريبوسوم. استخدام حروف ملونة لقواعد معينة يوضح ان

القاعدة الفعلية هي صورة متحورة كيميائيا من القاعدة المبيتة هنا.



الشكل ١٣-١٠. منظر مجسم للحامض RNA الناقل للفينيل ألانين من الخميرة. النهاية ٣ حيث يتصل الفينيل ألانين في الجانب الأيمن العلوي. الكودون المضاد في الجزء الأيمن السفلي. التعليقات الخاصة بالتعام الصورتين موجودة تحت الشكل ٤-٢٤. (بتصريح من الدكتور سونج - هوكيم).

حلزون مثلها في حالة جزيء الحامض DNA (الشكل ١٣-١٠). ولهذا السبب تنشأ عدة إنشاءات في السلسلة. في جميع جزيئات الحامض tRNA يوجد التتابع سيتوزين - سيتوزين - أدنين عند النهاية ٣. الحامض الأميني النشط يلتصق بالأدنين (الشكل ١٣-٩).

القواعد غير المزدوجة مع بعضها عند «إنشاء الكودون المضاد anticodon loop» تعرف على القواعد المكملّة الموجودة على mRNA وتتحّد معها حسب أسس إزدواج القواعد. تماماً كما يتضمن تضاعف ونسخ الحامض DNA إزدواج قواعد النيوكليوتيدات التي تحمّر في إتحامين متضادين فإن قراءة الكودونات في الحامض mRNA ( $5' \leftarrow 3'$ ) تتطلب إرتباط الكودون المضاد في الاتجاه المضاد:

الكودون المضاد	٣'	أدنين	أدنين	جوانين	٥'
الكودون	٥'	يوراسيل	يوراسيل	سيتوزين	٣'

هناك عشرون نوعاً أو أكثر من الحامض tRNA يحمل كل منها حامض أميني واحد معين يمكنها أن تتحد مع تلك الأجزاء من الحامض mRNA حيث تكون القواعد

مكملة للقواعد المكشوفة على إنشاء الكودون المضاد في الحامض tRNA وبهذه الطريقة يتم تجميع الأحماض الأمينية في تتابع معين لتكوين عديد الببتيد. هذا التتابع للأحماض الأمينية يحدده تتابع القواعد في الحامض mRNA وبالتالي في الحامض DNA الموجودة في الجين (الشكل ١٣-١١). تتم ترجمة الحامض mRNA على الريبوسومات وهذه العملية تتم على ثلاث مراحل:

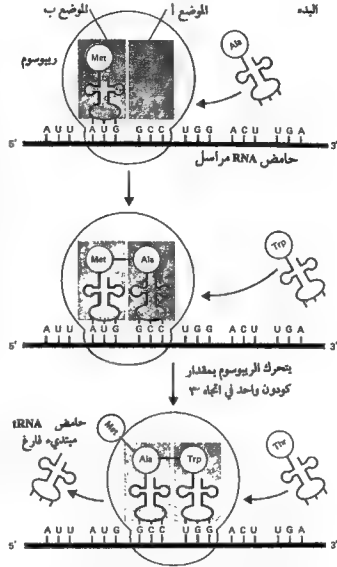
١ - البدء Initiation: يلتصق الريبوسوم على موقع معين للبدء على جزيء الحامض mRNA. يوجد هذا الموقع على بعد بضع نيوكليوتيدات لأعلى (أي على الجانب ٥') من بداية الرسالة. ثم يلتحم حامض tRNA خاص يسمى الباديء initiator على الكودون (عادة عند AUG) الذي يبدأ كل رسالة ويكون الألتحام عند موقع على الريبوسوم يسمى الموقع P. الحامض الأميني الذي يحمله الحامض الباديء هو الميثيونين methionine (أو صورة معدلة منه تسمى fMet في البكتيريا).

٢ - الاستطالة Elongation: يصل جزيء tRNA القادر على ازدواج القواعد مع كودون الحامض mRNA عند موقع مجاور على الريبوسوم (يرمز له بالحرف A). الحامض الأميني السابق (الميثيونين عند بداية الترجمة) يرتبط مع الحامض الأميني اللاحق برابطة ببتيدية ويتحرر الحامض tRNA الباديء من الموقع P ليتحرك الريبوسوم بمقدار كودون واحد في الاتجاه التنازلي. هذا ينقل أحدث الأحماض tRNA في الوصول - بما عليه من ثنائي الببتيد - الى الموقع P ويفتح الموقع A لوصول حامض tRNA آخر حاملا معه حامض أميني ثالث الى سلسلة عديدة الببتيد المتنامية. وبهذه الطريقة تتم ترجمة الرسالة (التي سبق نسخها الى جزيء mRNA) الى تتابع محدد للأحماض الأمينية في عديد الببتيد (الشكل ١٣-١١).

٣ - النهاية Termination: تستمر استطالة عديد الببتيد كما وصفناها حتى نهاية الرسالة. وتتحدد النهاية بالكودون UUA و UAG و UGA التي لا توجد لها جزيئات من الحامض tRNA. ومع ذلك فهذه الكودونات النهائية تتحد مع بروتين يحرر عديد الببتيد من الريبوسوم. وعندما يحدث ذلك ينشق الريبوسوم الى تحت وحدتيه اللتين يمكن تجميعهما فيما بعد لجولة أخرى من جولات تخليق البروتين. في الكائنات حقيقية النواة تتم عملية نسخ الحامض DNA الى الحامض RNA في



الشكل ١٣-١١.  
آلية تخليق عديد الببتيد  
حسب المعلومات  
الوراثية التي تم نسخها  
من الحامض DNA في  
صورة حلزون من  
الحامض mRNA. تفاعل  
الكودونات (موضحة)  
الموجودة على الحامض  
mRNA مع الكودونات  
المضادة (غير موضحة)  
الموجودة على الحامض  
tRNA يحدث عند الجزء  
الصغير من الريبوسوم.  
تكوين الروابط الببتيدية  
يحدث عند الجزء الكبير  
من الريبوسوم.  
الريبوسوم يقرأ الرسالة  
من النهاية ٥' وحتى النهاية ٣'  
أنظر النص لمزيد من  
التفاصيل.



النسوة. أما ترجمة الحامض mRNA فتحدث على الريبوسومات الموجودة في السيتوبلازم. جزيئات الحامض RNA التي يتم تخليقها في النواة تكون أكبر بكثير من الرسائل التي سوف تتم ترجمتها في السيتوبلازم والسبب الرئيسي في ذلك أن قطع الحامض RNA التي لن تترجم تكون موجودة مبدئياً في كل أنحاء الجزء (وتسمى المنسوخ الابتدائي primary transcript) ويتم إستبعاد معظم هذه القطع قبل أن يغادر الجزيء النواة. بالإضافة الى ذلك يرتبط خيط طويل (١٠٠-٢٠٠) من الرواسب الأدينينية (poly. A) الى النهاية ٣' من جزيء الحامض mRNA. يحتفظ الجزيء بهذا الذيل من عديد الأدينين عند دخوله الى السيتوبلازم وكلما زاد طول هذا الذيل كلما

كان الجزيء أكثر إستقرارا . وربما حدد طول الذيل من عديد الأدينين بطريقة ما عدد مرات ترجمة ذلك الجزيء من الحامض mRNA.

على الرغم من أن ريبوسوم واحد يستطيع تصنيع عديد الببتيد من جزيء الحامض mRNA إلا أنه عادة ما تشترك عدة ريبوسومات في هذه العملية في آن واحد . الجزيء الواحد من الحامض mRNA الذي تتصل به عدة ريبوسومات في المراحل المختلفة من تخليق عديد الببتيد يسمى البوليسوم (الجسم المتعدد) polysome (الشكل ١٣-١٢).

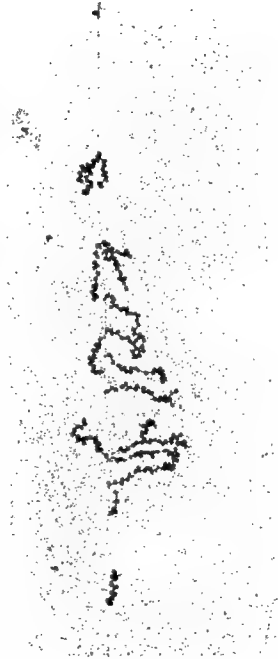
هنا إذن آلية يتحكم بها تتابع فريد للقواعد في الحامض DNA في تكوين تتابع فريد من الأحماض الأمينية في البروتينات التي يتم تصنيعها في الخلية وبذلك يكون الحامض DNA في الخلية بمثابة النسخة الأصلية master copy للمعلومات الوراثية بينما يكون الحامض mRNA بمثابة النسخة العاملة working copy. وهنا قد يفيد التشبيه في توضيح ذلك . ففي صناعة التسجيلات يذهب قدر كبير من العناية والتكاليف نحو إنتاج نسخة رئيسية من التسجيل . وهذه أغلى وأقيم من أن تستعمل في إنتاج آلاف النسخ البلاستيكية التي سوف تباع للجمهور وبدلا من ذلك يتم إنتاج نسخ عاملة من النسخة الرئيسية وهذه النسخ التي تسمى بالأمهات mothers هي التي تستعمل بعد ذلك في الحصول على المنتج النهائي .

## THE CODE

## ١٣-٤ . الشفرة

هناك أيضا قدر هائل من الدراسات التي تمت في محاولة لتحديد التتابع في قواعد جزيء الحامض mRNA الذي يعمل كشفرة لكل من الأحماض الأمينية . هناك فقط أربعة أنواع من القواعد (G,C,U,A) في جزيء الحامض mRNA وهي أقل من أن يكون كل منها شفرة لحامض أميني واحد . يمكن عمل ١٦ تجمع مختلف لأزواج هذه القواعد (UA, UU, AA) إلخ) ولكن ذلك مايزال أقل من العدد المطلوب . أما ثلاثيات هذه القواعد triplets of bases فيمكن ترتيبها بأربع وستين طريقة مختلفة (الشكل ١٣-١٣) وبذلك يكون فيها احتمالات زائدة عما هو مطلوب كشفرة للعشرين حامض أميني . وفي الواقع يمكننا أن نتوقع قيام إثنين أو ثلاث من هذه الثلاثيات المختلفة بدور الشفرة

الشكل ١٣-١٢. النسخ والترجمة المتزامنين في بكتيريا القولون. الليفة الطويلة (٣ ميكرون) الجارية من القمة الى القاع هي قطعة من كروموسوم البكتيريا. تمتد منها البوليوسومات التي يزيد طولها بصفة عامة من القمة الى القاعدة. كل بوليوسوم يتكون من حمود فقرى من الحامض mRNA تتصل به الريبوسومات. كل بوليوسوم يتصل بالحامض DNA بتركيب يظن أنه جزيء من اتزيم RNA بوليميريز. وعلى ذلك يبدو أن نسخ الحامض DNA يتم بواسطة جزيئات RNA بوليميريز التي تتحرك من القمة الى القاع بينما تتم ترجمة الحارزونات المتزايدة في السطول من الحامض mRNA بواسطة الريبوسومات المتحركة عليهم في اتجاه الطرف القريب الى الطرف البعيد. في بكتيريا القولون وربما في كل بدائيات النواه يكون نسخ الحامض DNA الى mRNA و ترجمة الحامض الى mRNA الى سلاسل عديدة الببتيد في تناسق كبير. (صورة المجهر الأليكتروني مكبرة ٧٥٠٠٠ مرة - بتصريح من أو. ل. ميلر الصغير).



لحامض أميني واحد. هذه الشفرة من الثلاثيات يمكن أيضا أن تفسر وجود أكثر من ٢٠ حامض tRNA مختلفين في خلية مع قيام كل من حامضين أو ثلاثة منها في بعض الحالات بأحضار نفس الحامض الأميني الى عديد الببتيد المتنامي.

الثيوكليريد الثانية						
SECOND NUCLEOTIDE						
	U	C	A	G		
الثيوكليريد الأولى	UUU UUC UUA UUG	UCU UGC UCA UGG	UAU UAC UAA UAG	UGU UGC UGA UGG	U C A G	الثيوكليريد الثانية
	Phenylalanine (Phe)	Serine (Ser)	Tyrosine (Tyr)	Cysteine (Cys)		
	Leucine (Leu)		stop stop	stop Tryptophan (Trp)		
C	CUU CUC CUA CUG	CCU CCC CCA CCG	CAU CAC CAA CAG	CGU CGC CGA CGG	U C A G	
	Leucine (Leu)	Proline (Pro)	Histidine (His)	Arginine (Arg)		
			Glutamine (Gln)			
A	AUU AUC AUA AUG	ACU ACC ACA ACG	AAU AAC AAA AAG	AGU AGC AGA AGG	U C A G	
	Isoleucine (Ile)	Threonine (Thr)	Asparagine (Asn)	Serine (Ser)		
			Lysine (Lys)	Arginine (Arg)		
G	GUU GUC GUA GUG	GCU GCC GCA GCG	GAU GAC GAA GAG	GGU GGC GGA GGG	U C A G	
	Valine (Val)	Alanine (Ala)	Aspartic acid (Asp)	Glycine (Gly)		
			Glutamic acid (Glu)			

الشكل ١٣-١٣. الشفرة الوراثية. لاحظ أن الكودونات المبنية هنا هي كودونات الحامض RNA وليس الحامض DNA. أي أن هذه هي الكودونات الموجودة في الحامض mRNA.

عن طريق تخليق جزيئات mRNA ثم إمدادها بالريبوسومات و ATP والأنزيمات المنشطة وكل الأحماض الأمينية العشرين أمكن تحديد ثلاثيات الشفرة الخاصة بالأحماض الأمينية المختلفة. فمثلا الحامض mRNA التخليقي الذي يحتوي على قواعد يوراسيل فقط (أي poly-U) ينتج عديد بيتيد يحتوي على الحامض الأميني فينيل ألانين فقط. وذلك يوحي بأن الثلاثية UUU ترشد عملية إدماج الحامض فينيل ألانين في سلسلة عديد الببتيد التي لا تحتوي إلا على الحامض الأميني ليسين. ومن خلال استعمال جزيئات الحامض mRNA التخليقية الأخرى أمكن الربط بين واحدة أو أكثر من الثلاثيات مع كل واحد من الأحماض الأمينية العشرين (الشكل ١٣-١٣). وبسبب هذه العلاقة الشفرية سميت كل ثلاثية من القواعد بالكودون (أي وحدة الشفرة) codon

تعمل ثلاثة من الكودونات الأربعة والستين المحتملة (UGA, UAG, UAA) كنهايات تتوقف عندها عملية الترجمة. ويخدم الكودون AUG غرضين مرتبطين فعندما يوجد AUG في داخل الرسالة فإنه يعمل على إضافة الحامض الميثيونين (Met) ومع ذلك تبدأ جميع الرسائل بـ AUG. وعلى الرغم من أنها أيضا تحمل الميثيونين (Met) في البكتيريا)

فان الحامض tRNA الباديء والذي يلتحم مع AUG عند بداية الرسالة ليس هو نفس الحامض tRNA الذي يحضر الميثيونين الى كودون AUG في داخل الرسالة ويتم تجنب اللبس بين الاثنين عن طريق عدم قدرة الحامض tRNA الباديء على الالتحام مع الموقع A على الريبوسوم.

تستطيع بعض جزيئات الحامض tRNA التعرف على أكثر من كودون واحد. فمثلا الحامض tRNA الخاص بالفينيل ألانين والذي يحمل الكودون المضاد GAA لايتعرف فقط على الكودون UCC (كما قد تتوقع) ولكن أيضا على الكودون UUU. العديد من جزيئات الحامض tRNA الأخرى تستطيع الالتحام مع اثنين أو حتى ثلاثة من الكودونات التي تختلف فقط في الموقع الثالث بكل منها. لاحظ في الشكل ١٣-١٣ كيف يمكن تشفير غالبية الأحماض الأمينية بواسطة كودونات مترادفة لا تختلف في الموضع الثالث. سمى الخروج على الأسس المألوفة لأزدواج القواعد في موضع القاعدة الثالثة في الكودون بالتذبذب "wobble".

#### MUTATIONS

#### الطفرات

الكودونات GAG, GAA هما الشفرة الخاصة بحامض الجلوتاميك (الشكل ١٣-١٣). في المثال الخاص بنوعي الهيموجلوبين  $Hb^S$ ,  $Hb^A$  فإن إحلال قاعدة واحدة هي اليوراسيل U محل الأدينين A في وسط الكودون يحول هذين الكودونين الى GUG, GUA. وكلاهما في الواقع مخصص للفالين valine وهو الحامض الأميني الذي يحمل محل حامض الجلوتاميك في هيموجلوبين الخلايا المنجلية. وعلى ذلك يكون الفرق الأساسي بين ضحية أنيميا الخلايا المنجلية وشخص لديه هيموجلوبين عادي هو وجود الأدينين (A) بدلا من الثايمين (T) في الجزء من الحامض DNA الذي ينسخ الى الحامض mRNA الخاص بالسلسلة بيتا من الهيموجلوبين. وقد تجد أن هذا التغير ضئيل ولكن إحلال الفالين محل حامض الجلوتاميك يغير من الخواص الفيزيائية للهيموجلوبين لدرجة أن أنيميا قاتلة تظهر على الأفراد الذين يحملون كلا الجينين لهذه الصفة.

هناك مع ذلك طفرات صامتة silent بسبب وجود التذبذب. فإذا كان التغير في أزواج القواعد في الحامض DNA يؤدي إلى تكوين كودونات مترادفة في الحامض mRNA فان عديد الببتيد الناتج من الترجمة لن يتغير.

## MULTIPLE ALLELES

## ١٣-٥. الجينات المتضادة المتعددة

لا تؤدي كل التغيرات في القواعد الى تغير في عديد الببتيد و تستطيع أن تقدر أنه حتى في جين صغير مثل ذلك الذي يحدد سلسلة بيتا في الهيموجلوبين فان العدد المحتمل للطفرات يكون ضخماً جداً. في الواقع عندما تقدمت دراسة الجينات وتأثير الجينات فقد تبين أن أي جين يمكن أن يتطفر بعدة طرق. على مدى سنوات قليلة تم اكتشاف أكثر من ٢٠٠ طفرة مختلفة في الجينين المتحكمين في تخليق السلسلة الفا والسلسلة بيتا في هيموجلوبين الإنسان معظمها يؤدي الى عديد ببتيدي به إحلال في حامض أميني واحد في مكان ما من طوله.

الجين المتطفر للهيموجلوبين  $Hb^s$  هو جين مضاد للجين الخاص ب  $Hb^A$ . جميع الطفرات الأخرى في السلسلة بيتا للهيموجلوبين هي أيضاً متضادة و نحن نستعمل المصطلح جينات متضادة متعددة multiple alleles كلما كان هناك عدة صور متطفرة من جين واحد. لاحظ أن أي فرد يمكن أن يحمل إثنين فقط من الجينات المتضادة (مثل  $Hb^A$ ,  $Hb^s$ ) كل منها على كروموسوم. قد يوجد عدة جينات متضادة في عشيرة. في ذباب الفاكهة وجد أكثر من ١٢ من الجينات المتضادة في موضع واحد يتحكم في لون العينين.

إذا كان جين سائد ينتج عديد ببتيدي فهل يكون نظيره المتنحي غير منتج لأي عديد ببتيدي؟ بالتأكيد لا يحدث ذلك مع الجينات المحددة للهيموجلوبينات الشاذة. الشخص متباين الالفة للأنيما المنجلية ينتج كلا من  $Hb^A$ ,  $Hb^s$  في نفس خلايا الدم الحمراء. مثل هؤلاء الأشخاص يمكن تمييزهم عن متماثلي اللاحقة في  $Hb^s$  أو  $Hb^A$ . هناك حالات عديدة أخرى حيث ينتج كل جين تأثيره الخاص على الطرز الظاهري للهجين. هذا الموقف يسمى (كما قد تتذكر من الباب ١٠) السيادة الناقصة codominance.

## VERIFICATION OF THE CODE

## ١٣-٦. تأكيد الشفرة

البحث البارع الذي أدى الى تحديد مهام الكودونات الموضح في الشكل ١٣-١٣ تم في أنابيب اختبار. ربما لهذا السبب وربما لأن القصة التي تمخض عنها هذا البحث

بدت خرافية فقد تساءل عدد من علماء الأحياء إن كان هذا النظام فعالا في الكائنات الحية . كان المطلوب هو تحديد التابع الدقيق للنوكليوتيدات في جين (أو جزيء من الحامض mRNA) وإثبات ما إذا كان تتابع القواعد متفق مع تتابع الأحماض الأمينية في البروتين المعبر عن شفرة هذا الجين (أو الذي تم تخليقه بهذا الجزيء من mRNA). لسوء الحظ فإن الخلية الواحدة تحتوي (كمعظم الخلايا) على نسختين من كل جين (مع بعض الاستثناءات). وبينما قد ينسخ جين واحد إلى عدة نسخ من mRNA فإن معظم الخلايا تحتوي في أي وقت من الأوقات على عدة أنواع من mRNA لا يوجد أي منها بكميات كبيرة. ومن أجل تحديد التابع فإن الكيميائي يحتاج إلى كميات كبيرة من مواد نقية .

جاء المخرج من هذا المأزق من وجود بعض فيروسات بكتيرية bacteriophages تستعمل الحامض RNA بدلا من الحامض DNA كقيادة وراثية. لهذه الفيروسات دورة عدوى تشبه أساسا تلك المبينة في الشكل ١٢-٤. كل وحدة فيروسية تتكون من غشاء بروتيني بداخله جزيء واحد من حلزون مفرد من RNA بدلا من DNA الموجود في العديد من الفيروسات (كما هو موضح في الشكل ١٢-٤). هذا الجزيء من RNA له وظيفة مزدوجة فهو يحمل كل جينات الفيروس وعددها ثلاثة. أحد هذه الجينات يحمل شفرة وحدة بناء إنزيم بلمرة RNA (RNA polymerase) وهو الذي يستعمل جزيء RNA الكامل لتخليق نسخ إضافية. نسخ RNA ← RNA للمادة الوراثية يشبه النسخ الجيني DNA ← DNA الذي درسناه في الباب السابق.

الجين الثاني يحمل شفرة جزيء البروتين الذي يتركب منه غشاء الفيروس. الجين الثالث يحمل شفرة البروتين "A" اللازم لنجاح تجميع الفيروس.

في إمداده بالمعلومات التي يمكن ترجمتها إلى هذه النواتج الجينية الثلاثة فإن جزيء RNA في هذا الفيروس البكتيري يؤدي أيضا وظيفة حامض mRNA. وكما هي الحال مع فيروسات DNA فإن آلية الترجمة (ريبوسومات و tRNA و أحماض أمينية والعديد من العوامل البروتينية الخاصة) هي تلك الخاصة بالخلية المائلة للفيروس وهي في هذه الحالة بكتيريا القولون *E. coli*.

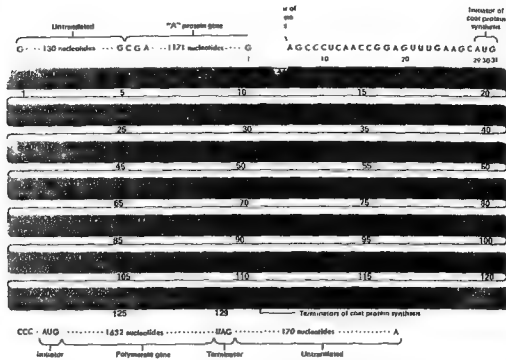
التركيب الابتدائي (أي تتابع الأحماض الأمينية) في الغشاء البروتيني للعديد من

فيروسات RNA البكتيرية هذه تم تحديده. تركيب بروتين الغشاء للفيروس المسمى MS2 موضح في الشكل ١٣-١٤ وهو عديد الببتيد المكون من ١٢٩ حامض أميني. من مثل هذه المعلومات ومن إمكانية الحصول على أعداد هائلة من دقائق الفيروس وعزل الحامض RNA منها يمكن التحقق من الشفرة. على مدى عدة سنوات نجح و. فريز W.FRIES ومعاونوه من تحديد كل تنابع النيوكليوتيدات (٣٥٦٩) في الحامض RNA للفيروس MS2. جزء من النتائج التي توصلوا إليها مبين في الشكل ١٣-١٤.

يبدأ الجزئي بقطعة من ١٣٢ نيوكليوتيدة لا تترجم الى ناتج بروتيني. يلي ذلك الجين (وطولة ١١٧٦ نيوكليوتيدة) الذي يحمل شفرة البروتين "A" (الذي يوجد به ٣٩٢ حامض أميني). ولتبسيط الشكل فإن النيوكليوتيدة قبل الأخيرة في هذا الجين (رقم ١٣٠٧ من بداية الجزئي) قد أعطيت الرقم ١ في الشكل ١٣-١٤. النيوكليوتيدات أرقام ٣-٥ هي UAG وهي التي تنهى الترجمة للبروتين "A" وبعد ذلك يوجد إمتداد من ٢٣ نيوكليوتيدة (أرقام ٦-٢٨) لا تترجم. النيوكليوتيدات الثلاث التالية (أرقام ٢٩-٣١) هي AUG وهي علامة البداية لترجمة بروتين الغشاء. بعد ذلك وإبتداء من النيوكليوتيدة رقم ٣٢ نقرأ في مجموعات من ثلاث فنجد أن الحامض الأميني الذي تنبأنا به لكل ثلاثية في جدول الكودونات الموضح في الشكل ١٣-١٣ يشكل تنابعا هو نفس التابع الذي حدده التحليل المستقل لبروتين الغشاء. بعد الثلاثية رقم ١٢٩ مباشرة تظهر الثلاثية UAA والثلاثية UAG (الشكل ١٣-١٤). وكل منهما لها مهمة إنهاء السلسلة. (غير معروف سبب استعمال إختتامين). يلي ذلك تنابع من ٣٠ نيوكليوتيدة غير مترجمة ثم كودون باديء initiator codon هو AUG يليه ١٦٣٢ نيوكليوتيدة تترجم الى إنزيم البلمرة RNA polymerase والمختتم UAG terminator. القطعة المتبقية من الجزئي عبارة عن ذيل "tail" من ١٧١ نيوكليوتيدة غير مترجمة.

الذي فعله فريز ومساعدوه إذن هو أنهم كشفوا عن محتوى المعلومات الشفرية لثلاثة جينات كاملة بما في ذلك علامات البدء و الختام. بالنسبة لاثنتين من هذه الجينات (جين البروتين "A" و جين بروتين الغشاء) فإن التحليل المستقل لنواتجهم عديدة الببتيد جاء مطابقا بدون استثناء لتوزيع الكودونات المبين في الشكل ١٣-١٣. وبأنجازهم هذا العمل التاريخي فإن هؤلاء الباحثين يكونوا قد أكدوا بطريقة مباشرة صحة الشفرة الوراثية ومن ثم يكونوا قد وضعوا واحدة من أخطر إنجازات القرن العشرين على أسس





الشكل ١٣-١٤. تتابع النيوكليوتيدات في جزء من الحامض RNA بالفيروس البكتيري MS2. هذا التسابع يشمل : (١) الجين الكامل لبروتين غشاء الفيروس (الكودونات ١-١٢٩) و (٢) اشارات بدئه وختامه و (٣) أجزاء من الجينات التي تسبقه و التي تليه و (٤) أقسام غير مترجمة على جانبي كل من الجينات الثلاث. تحليل البروتينات التي تخلفها هذه الجينات أكد أن توزيع المهام على الكودونات كما هو موضح في الشكل ١٣-١٣ صحيح بلا استثناء. تستعمل كل الكودونات المترادفة ما عدا ١٢ في جين بروتين الغشاء. تحليل الجين السابق عليه كشف عن الـ ١٢ كودون الباقية وعلى ذلك فإن الفيروس MS2 (مثل عائلة بكتيريا القولون) يستعمل كل كودون ممكن حتى ولو كان بعضها عاطل. حصل على هذه المعلومات و. فريز ومساعدوه.

لا يمكن زعزعتها.

هل الشفرة شاملة؟ بصفة عامة نعم. نفس الكودونات مخصصة لنفس الأحماض الأمينية ونفس إشارات البدء والختام في مثل تلك الكائنات المتباعدة بكتيريا القولون والخميرة ونبات الدخان وحيوان أبو ذئبة والفأر والأرنب وخنزير غينيا. وكما ترى في الشكل ١٣-١٣ فإن كل الأحماض الأمينية تقريبا يتم التشفير لها بأكثر من كودون واحد. أي هذه الكودونات البديلة للحامض أميني معين هو الذي يستعمل غالبا قد يختلف من نوع الى نوع بل من جين الى جين.

على الرغم من أن كل الكائنات حقيقية النواه التي درست تستعمل نفس الشفرة لجيناتها النووية فقد اكتشف حديثاً أن الشفرة تختلف قليلاً في الميتوكوندريا. فالميتوكوندريا بها كمية ضئيلة من DNA وهي تقوم بنسخه الى الأحماض tRNA , rRNA وعدة جزيئات مختلفة من mRNA الخاصة بها. وهي تستخدم هذه الجزيئات في تخليق القليل من بروتيناتها بنفسها ثم تؤمن بقية بروتينها من سيتوبلازم الخلية التي توجد فيها.

عند وضع الحامض mRNA من الميتوكوندريا في أنبوبة اختبار مع بقية المواد اللازمة لتخليق البروتين (أحماض أمينية وإنزيمات والحامض tRNA والريبوسومات . . . إلخ) فإنه يفشل في بناء بروتينات عادية. أحد أسباب ذلك أن الميتوكوندريا تستخدم الكودون UGA كشفرة للحامض الأميني تريبتوفان (Tryptophan (Try بدلاً من إستخدامه كمختتم للسلسلة. على ذلك عند ترجمته بالآليات السيتوبلازمية فإن التخليق يتوقف كلما إلتقي بكودون التريبتوفان. بالإضافة الى ذلك فإن ميتوكوندريا الثدييات تستخدم الكودون AUA للميثيونين methionine بدلاً من إستخدامه للإيزوليوسين isoleucine كما تستخدم الكودونات AGG, AGA كمختتم للسلسلة. في ميتوكوندريا الخميرة جميع الكودونات التي تبدأ ب CU تستخدم كشفرة للثريونين threonine بدلاً من الليوسين. ومع ذلك فهي ما زالت قادرة على إستعمال الكودونات UUG, UUA كشفرة لليوسين مثلما تفعل كل جزيئات mRNA الموجودة في السيتوبلازم.

### ١٣-٧. فعل الطراز الجيني الكلي

#### THE ACTION OF THE ENTIRE GENOME

لقد كان مندل يدرك أن فهم قواعد الوراثة لا يأتي إلا من دراسة صفات بسيطة ومعددة. وقد إلتبعت غالبية البحوث التالية بالضرورة نفس التقليد. معظم المعلومات التي ناقشناها في هذا الباب جاءت من دراسة أنظمة وراثية مبسطة (مثل الفيروس MS<sub>2</sub>) ومع ذلك فالصفات المحددة مثل نوع الهيموجلوبين ووجود إنزيم فعال واحد تمثل جزءاً صغيراً من كيفية توجيه نشأة ووظيفة الكائن. المكتبة الوراثية الكاملة للكائن تسمى الطراز الجيني genome وحتى الآن فإن علم الوراثة لم يقدم إلا بداية العلاقة بين الكائن وطرازه الجيني. ومع ذلك فقد برزت ثلاثة مبادئ هامة.

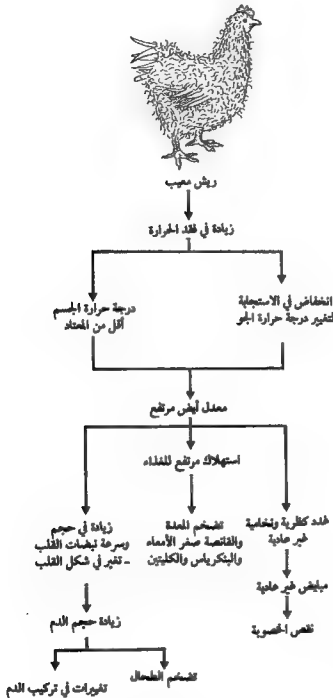
## ١- التأثيرات المتعددة لجينات مفردة : MULTIPLE EFFECTS OF SINGLE GENES

قد يكون للجين المفرد تأثيرات عديدة. على الرغم من أن الجين الواحد ينتج عديد بيتيد واحد (عادة) فإن نشاط عديد الببتيد هذا (أو البروتين الذي هو جزء منه) في الأجزاء المختلفة من الكائن قد يؤدي الى تأثيرات مختلفة. بالإضافة الى ذلك فإن التأثيرات الناتجة في أحد أجزاء الكائن كنتيجة مباشرة لفعل الجين قد تخل بدورها بالتوازن الطبيعي في أجزاء أخرى من الكائن. وعلى ذلك فقد يترتب على الفعل الأول لأحد الجينات سلسلة كاملة من التغيرات التركيبية والوظيفية. يتضح ذلك في توارث الصفة المسياه التجعد المش Frizzling في الدجاج. ريش الدجاج متشابه اللاقحة في هذه الصفة يكون سهل الكسر ويقدم القليل من العزل الحراري للطائر ومن المحتمل أن تكون الجينات المتضادة منتجة لبروتين لا يسمح بالنمو الطبيعي للريش. والعزل الحراري السيء للريش المش يؤدي الى زيادة فقد الطائر للحرارة وهذا بدوره يبدأ سلسلة كاملة من التغيرات التركيبية والوظيفية (الشكل ١٣-١٥). يوضح ذلك المبدأ أيضاً الأعراض العديدة المصاحبة للكثير من الأمراض الوراثية في الإنسان مثل نقص الأصباغ ومعامل الذكاء (IQ) شديد الانخفاض في الأفراد المصابين بمرض فينيل كيتونوريا. نشأة عدة تأثيرات عن جين واحد تسمى التأثير السباعي pleiotropy.

## ٢- تفاعل الجينات THE INTERACTION OF GENES

قاعدة ثانية هي أن التعبير عن أي صفة يتأثر بعدد كبير من الجينات. فجين واحد قد يؤدي الى إحمرار لون زهرة البسلة بدلا من كونها بيضاء ولكن العديد من الجينات الأخرى تكون لازمة لأعطاء البتلات تركيبها وترتيبها. وأبعد من ذلك فإنه لا يمكن التعبير عن صفة لون الزهرة بدون النشاط المنسق لعدة جينات توجه نشأة وتكوين الجذور والسوق والأوراق.

حتى الصفات البسيطة مثل القدرة على أيض جزيء صغير مثل فينيل ألانين (الشكل ١٣-٣) تتطلب نشاط عدد من الأنزيمات وكل من هذه يتكون من سلسلة واحدة أو أكثر من عديد الببتيد والتي يتم تخليق كل منها بدورها بواسطة جين معين. وقد أوضحت الدراسات التي أجريت على عدد من الكائنات الدقيقة أن بعض حالات



الجينات المسؤولة عن تخلق إنزيمات متشابهة تكون متجاورة على الكروموسوم. فمثلا في بكتيريا القولون *E.coli* تكون الجينات المنتجة للإنزيمات اللازمة لأيض ثنائي التسكر لاكتوز متجاورة على جزء واحد من كروموسوم الكائن. وعند إحدي نهايات هذه

السلسلة من الجينات يوجد جين خاص بالتشغيل وهو الذي يشغل الآخرين أو يوقفهم عن العمل حسبها علمية ظروف الخلية . مجموعة جين التشغيل والجينات التي يتحكم فيها تسمى أوبرون operon . من المؤكد أن الترابط الوثيق بين الجينات ذات العلاقات الوظيفية يخدم الكائن . عن طريق تجميع مثل هذه الجينات في أوبرونات فإن إنتاج كل الانزيمات اللازمة لنشاط أبيض معين يستمر تلقائيا وبكميات منسقة بدقة .

كم عدد الجينات اللازم لبناء كائن ؟ لا أحد يعرف بدقة . فقد يستطيع المرء تقدير كمية الحامض DNA الموجودة في خلية من خلايا الكائن (وهي عامة تزيد بزيادة تعقد الكائن) ومنها يحسب أزواج القواعد الموجودة فيها . الخلية الثديية النموذجية تحتوي على حوالي  $5 \times 10^9$  من أزواج القواعد في مجموعة ثنائية من الكروموسومات . هذا يكافئ طول إجمالي مقداره حوالي ١,٧ متر وهي أكثر من ١٠٠٠ ضعف الكمية الموجودة في بكتيريا القولون ولكن هل عدد الجينات في الثدييات يساوي ١٠٠٠ ضعف عددها في بكتيريا القولون ؟ ربما لا .

دعنا نفترض أن كل جين يحمل شفرة لعديد ببتيد طوله في المتوسط ٥٠٠ حامض أميني . ذلك يتطلب ١٥٠٠ من أزواج القواعد فإذا قسمنا  $5 \times 10^9$  على ١٥٠٠ حصلنا على قيمة  $3,3 \times 10^6$  من الجينات المختلفة . ولكن هذا التقدير مبني على أساس الافتراض الإضافي أن كل الحامض DNA الموجود في الخلية نشط وراثيا . وقد ثبت الآن أن الحالة ليست كذلك . خلايا الكائنات حقيقية النواة تحتوي على كميات متغيرة ولكنها دائما كبيرة من الحامض DNA المتكرر - أي تتابعات متماثلة أو على الأقل متشابهة تتكرر مرة بعد مرة . بعض هذا الحامض DNA المتكرر يكون نشطا وراثيا ولكنه يمثل نسخ متعددة من جين واحد (مثل جينات الهستون) ولكن الكثير منه لا يبدو له نشاط وراثي وما زالت وظيفته محل تخمين وقد يلعب أدوارا هامة في تعبئة الجينات وتشغيلها أو إيقافها عن العمل . لذلك فإن هناك احتمال متزايد بأن هناك جزء كبير من الطراز الجيني في الكائنات حقيقية النواة لا يتم التعبير عنه أبدا بإنتاج بروتينات . ربما لا يتم نسخ أكثر من ٢٥٪ من الحامض DNA الموجود في النواة وربما لا تتم ترجمة إلا ١٠٪ فقط مما تم نسخه في السيتوبلازم . وفي المثال الحالي إذن يكون لدينا تقدير مبدئي بحوالي ٤٠٠٠٠ جين في طراز جيني أحادي haploid .

بالنسبة لبكتيريا القولون فالموقف أوضح . هذه البكتيريا ليس بها حامض DNA متكرر وفيما عدا الجينات الخاصة بالحامض rRNA لا يوجد تعدد في نسخ الجينات . في ١ مم من الحامض DNA تحتوي بكتيريا القولون على حوالي ٢٠٠٠ جين . أما بالنسبة للذبابة الفاكهة فيبدو أن الرقم متوسط : حوالي ٥٠٠٠ جين (و هو رقم يقارب مجموع الشرائط التي تشاهد على الكروموسومات العملاقة)

### ٣- تأثيرات البيئة على فعل الجين ENVIRONMENTAL INFLUENCES ON GENE ACTION

القاعدة الثالثة هي أن فعل الجينات يعتمد أيضا على البيئة . القدرة على تصنيع الكلوروفيل تقع تحت سيطرة جين ولكن النباتات لا تستطيع أداء المهمة دون أن تتعرض للضوء (إرجع الى الشكل ٨-١١) . إذا كان من السهل التعرف مبكرا على ضحايا المرض الوراثي لفينيل كيتونوريا (PKU) فانه ممكن منع الجينات المتطفرة من التعبير عن نفسها ويتم ذلك بانقاص كمية الحامض الأميني فينيل ألانين في غذاء المرضى .

وعلى ذلك فالجينات التي يرثها كائن تحدد إحتالات ما يمكن إنجازه طوال مجري نشأته ونموه . أما البيئة فتحدد الدرجة التي يتم بها إنجاز هذه الإحتالات .

## CHAPTER SUMMARY

### ملخص الباب

تتابع النيوكليوتيدات في الحامض DNA يملي تتابع الأحماض الأمينية في عديد الببتيد . كل حامض أميني سيدخل الى عديد الببتيد يتحدد بواسطة تتابع من ثلاث نيوكليوتيدات تشكل فيها بينها كودون . تتم العملية على مرحلتين : (١) النسخ لحزون الحامض DNA الى حلزون من الحامض المراسل mRNA و (٢) الترجمة للحامض mRNA الى عديد الببتيد . ترجمة الحامض mRNA تتطلب ريبوسومات وحامض ناقل tRNA وعديد من الأنزيمات . كل من النسخ والترجمة يعتمد على ازدواج القواعد في النيوكليوتيدات المتكاملة .

يمكن ترتيب أربع أنواع من النيوكليوتيدات في ٦٤ تتابع مختلف مكون من ثلاث نيوكليوتيدات وبذلك ينشأ ٦٤ كودون مختلف . كل الكودونات الممكنة مستعملة في

الكائنات الحية ومنهم ٦١ كودون تحدد أحماضا أمينية. كل من الأحماض الأمينية العشرين التي تدخل في تخليق البروتينات يتحدد بواسطة كودون واحد أو عدة كودونات ولكن لا يوجد كودون واحد يحدد أكثر من حامض أميني واحد. تعمل ثلاث كودونات كإشارات لختام الترجمة. بسبب التذبذب تستطيع بعض جزيئات tRNA الالتئام مع ٢ أو حتى ٣ كودونات mRNA تختلف عن بعضها في المكان الثالث.

في الكائنات حقيقية النواة يحدث النسخ في النواة والناتج (ويسمى النسخة الأولية) يكون عادة أضخم بكثير من جزيء mRNA الذي سيتم ترجمته. العديد (وليس كل) من قطع الحامض RNA التي لن تترجم تنفصل عن النسخة الأولية والقطع الشفرية الباقية تتلاحم أطرافها لتكوين جزيء حامض mRNA الناضج وهذا ينتقل إلى السيتوبلازم حيث تتم ترجمته بآليات الريبوسومات.

هناك كودونات عديدة في الحامض DNA بالميتوكوندريا (على الأقل في الثدييات والخميرة) تختلف في تخصصاتها عن الكودونات المستعملة في الحامض DNA بالنواة.

قسم كبير من الطفرات يتضمن استبدال نيوكليوتيدة بأخرى في الحامض DNA. بعض هذه الطفرات صامتة لأن الكودون الجديد يحمل شفرة نفس الحامض الأميني ومع ذلك فعندما يتخصص الكودون الجديد في حامض أميني مختلف فإن عديد الببتيد الناتج من الجين يتغير. الجين المتطفر هو جين مضاد للجنين الأصلي. بعض الجينات في نوع ما (مثل الجينات الخاصة بالسلسلة بيتا في هيموجلوبين الإنسان) توجد في عدة صور متضادة. ومع ذلك فإن أي فرد لا يوجد به إلا إثنان على الأكثر من الجينات المتضادة لأي مكان locus في العشرة.

معظم الجينات سبوعية التأثير pleiotropic أي أن الناتج الأولي للجنين (وهو عديد الببتيد) ينتج عددا من التأثيرات المختلفة على الطراز المظهري. وبالعكس تتأثر معظم صفات الطراز المظهري بعدد من الجينات المختلفة. الطراز المظهري لكائن يتأثر كذلك بالبيئة التي يحدث بها التعبير عن الجينات.

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - فرق بين العوامل المتعددة والجينات المتضادة المتعددة.
- ٢ - مع إهمال العبور كم عدد الأنواع المختلفة من الجراثيم الأسكية يمكن لفطر *Neurospora crassa* أن ينتجها بالتوزيع العشوائي لكروموسوماته؟ العدد الأحادي للكروموسومات هو ٧.
- ٣ - إلى جانب الحامض DNA والحامض RNA ماهي المواد الحيوية الهامة الأخرى التي تحتوي على المادة البيورينية أدنين؟
- ٤ - هل صحيح القول بأن الكيس الأسكي الذي ينتج زيجوت فطر *Neurospora* متباين اللاحقة (Aa) فيه ٤ جراثيم تحمل A وأربعة تحمل a؟ اشرح.
- ٥ - لماذا يمكن عمل تنبؤ محدد في السؤال الرابع بينما لم تتمكن من عمل تنبؤ محدد في السؤال الرابع عند نهاية الباب ١٠؟
- ٦ - ماهو تتابع القواعد في الحامض mRNA يتم تشفيره بالثلاثيات الآتية في جزيء الحامض DNA: GCT, GAT, CCA, AAA, AGT, .
- ٧ - لماذا كانت الكائنات أحادية العدد الكروموسومي مفيدة بصفة خاصة في الدراسات الوراثية؟
- ٨ - لماذا كانت معظم الطفرات متنحية؟
- ٩ - ماهي الأيونات غير العضوية التي تتوقع أن تضيفها إلى السكروز والبيوتين لعمل وسط غذائي به الحد الأدنى من متطلبات نمو فطر نيوروسبورا غير متطفر؟ لماذا؟
- ١٠ - الوسط الغذائي الأدنى لفطر نيوروسبورا يتطلب وجود البيوتين بينما الوسط الأدنى لبكتيريا القولون لا يتطلب ذلك؟ هل يعني هذا أن البيوتين لا يشارك في أبيض خلايا بكتيريا القولون؟ اشرح.
- ١١ - عرف الجين. هل هذا هو نفس تعريفك له عند نهاية الباب ١٠ والباب ١١؟
- ١٢ - مستخدماً معلوماتك عن الانقسام الاختزالي ما هي تنظيمات الجراثيم A والجراثيم a التي يمكن أن توجد في كيس أسكي أنتجته سلالة من فطر نيوروسبورا متباين اللاحقة لهذين الجينين المتضادين؟
- ١٣ - الجين الأول في الفيروس MS2 ينتهي بإشارة ختام UAG مبنية كنيوكليوتيدات أرقام ٣، ٤، ٥ في الشكل ١٣-١٤. الجين التالي يبدأ ب AUG



عند المواضع أرقام ٢٩ ، ٣٠ ، ٣١ - هل عدد النيوكليوتيدات في المنطقة بين الجينين يقبل القسمة على ٣؟

١٤ - بعض فيروسات MS2 تخطيء أحيانا في قراءة إشارة الختام UAG (المواضع ٣ ، ٤ ، ٥ في الشكل ١٣-١٤) وبدلا من التوقف عن ترجمة الجين الأول فانها تحشر الحامض الأميني سيرين (Ser) عند هذه النقطة وتستمر في الترجمة. مع أخذ اجابتك عن السؤال السابق في الاعتبار ماهي إشارة «قف» المحتملة بعد ذلك؟

١٥ - باستخدام جدول توزيع المهام على الكودونات (الشكل ١٣-١٣) أذكر تتابع الأحماض الأمينية في الجزء الزائد الشاذ من البروتين الذي تم تحليله في السؤال السابق (تم التأكد من وجود مثل هذا البروتين).

## REFERENCES

## المراجع

- 1- BEADLE, G.W. "The Genes of Men and Molds," Scientific American, Offprint No. 1, September, 1948. The techniques of using Neurospora as a tool for studying action are described in detail.
- 2- PETERS, J. A., ed., Classic Papers in Genetics. Prentice - Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1959. Includes the original papers on the discoveries made by H. J. Muller, Beadle and Tatum, Avery and his co-workers, and Watson and Crick. Other papers on the nature and action of genes are also included.
- 3- FRIEDMAN, M. J., and W. TRAGER, "The Biochemistry of Resistance to Malaria," Scientific American, Offprint No. 1493. The story of a sickle-cell anemia.
- 4- LAKE, J. A., "The Ribosome," Scientific American, Offprint No. 1501 August, 1981. Includes a detailed discussion of the mechanism of protein synthesis.
- 5- MILLER, O. L. JR., "The Visualization of Genes in Action," Scientific American, Offprint No. 1267, March, 1973.
- 6- LANE, C., "Rabbit Hemoglobin from Frog Eggs," Scientific American,

- Offprint No. 1343, August, 1976. How *Xenopus* eggs translate messenger RNA injected to them.
- 7- NIRENBERG, M.W., "The Genetic Code II," Scientific American, Offprint No. 153, March, 1963. Explains how synthetic messenger RNA was used to determine the "letter" in the genetic code.
  - 8- GORINI, L., "Antibiotics and the Genetic Code," Scientific American, Offprint No. 1041, April, 1966. Summarizes the mechanism of protein synthesis and shows how certain antibiotics interfere with the process by causing errors in the translation of the genetic code.
  - 9- RICH, A., and S.H. KIM. "The Three - Dimensional Structure of Transfer RNA," Scientific American, Offprint No. 1377, January, 1978.
  - 10- WATSON, J.D., Molecular Biology of the Gene. 3rd ed., Benjamin, Menlo Park, Calif., 1967. Already a classic, this superb book was written by the codiscoverer of the structure of DNA. It includes discussions of the molecular genetics of *E. coli* and both DNA and RNA bacteriophages.

## CHAPTER 14

## الباب الرابع عشر

### ترتيب المعلومات الوراثية

### THE ORGANIZATION OF GENETIC INFORMATION

READING GENES :	١-١٤ . قراءة الجينات : دراسة
DNA SEQUENCING	تتابع الحامض DNA
RESTRICTION ENDONUCLEASES	اندونيوكليزات التقيد
SEQUENCING DNA	تتابع الحامض DNA
OVERLAPPING GENES	٢-١٤ . الجينات المترابطة
CLONING GENES	٣-١٤ . انتاج الجينات المتماثلة :
RECOMBINANT DNA	DNA المجهين
SPLIT GENES	٤-١٤ . الجينات المفصولة
JUMPING GENES	٥-١٤ . الجينات الوثابة
THE PROSPECTS OF GENETIC	٦-١٤ . التوقعات بالنسبة للهندسة
ENGINEERING	الوراثية
USING PROKARYOTES TO SYNTHESIZE	استخدام بدائيات النواة
EUKARYOTIC PROTEINS	لتخليق بروتينات حقيقيات النواة
REVERSE TRANSCRIPTASE	الترانسكربتيز العاكس
PUTTING GENES INTO EUKARYOTES	وضع جينات في حقيقيات النواة
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب



## الباب الرابع عشر

### ترتيب المعلومات الوراثية

ربما كانت اكثر الاكتشافات إثارة في علم الاحياء منذ صدرت الطبعة السابقة من هذا الكتاب هي في مجال بحوث الحامض DNA. في السنوات القليلة الماضية تحقق تقدم فائق السرعة في عزل الجينات وفك رموزهم وتناولهم في المعمل . واستحدثت طرق لغرس جينات معينة في خلايا أجنبية ثم تضاعفهم فيها بنجاح ونسخهم وترجمتهم .

جاء قدر هائل من المعلومات نتيجة هذا التقدم حول ترتيب المعلومات الوراثية في الخلايا حقيقية النواه . هذه المعلومات ليست مذهلة فقط ولكنها أيضا تعطي الامل في تحقيق الكثير من المكاسب في مجالات الطب البشرى والطب البيطري والزراعة . ويتم الان تصنيع امصال جديدة وبروتينات مفيدة أخرى مثل هرمونات الانسان حسب الطلب بواسطة وسائل الهندسة الوراثية . ومازال في الافق استخدام هذه الوسائل لتصحيح العيوب الوراثية بل ووضع وظائف وراثية جديدة تماما . لم يكن أي من هذا ممكنا بدون وسائل فك رموز الجينات نفسها .

١٤-١ . قراءة الجينات : READING GENES :

دراسة تتابع الحامض DNA DNA SEQUENCING

تستخدم معظم الكائنات الحامض DNA لتخزين معلوماتها الوراثية . وحتى يمكن قراءة هذه المكتبة الوراثية فاننا نحتاج الى طريقة لتحديد تتابع النيوكليوتيدات في الحامض DNA. في خلال فترة وجيزة بعد العمل الضخم الذي قام به فريز لفك رموز الحامض RNA (انظر القسم ١٣ - ٦) استحدثت طرق لقراءة جينات الحامض DNA. طبقت هذه الوسائل أولا على فيروسات DNA لأن جزيئاتها من الحامض DNA صغيرة

نسبيا ويسهل تنقية كميات كبيرة منها. كان اول فيروس يتم تحديد التتابع في حامضه DNA هو الفيروس البكتيري المسمى  $\phi$ X 174 وقد تم هذا العمل في معمل فريدريك سانجر (الذي قام بتحديد الأحماض الأمينية في الانسولين قبل ذلك بثلاثة وعشرين عاما - ارجع الى القسم ٤-٤).

ينمو الفيروس  $\phi$ X 174 في بكتيريا القولون. حامضه النووي DNA يتكون من جزيء واحد به ٥٣٨٦ نيوكليوتيدة. هذا يساوي ٠,٠٠١ من حجم جزيء الحامض DNA الذي يحمل جينات بكتيريا القولون كما يساوي جزء في المليون من حجم المكتبة الوراثية في خلية انسان. ومع ذلك فان هذا الجزيء اكبر من ان يدرس التتابع فيه كقطعة واحدة.

من أجل دراسة التتابع في أحماض DNA من هذا الحجم لابد من تقطيعها أولا الى قطع اصغر. الكثير من الانزيمات الهاضمة للحامض DNA يمكنها تحقيق ذلك ولكن اغلبها لا يصلح لاجراض دراسة التتابع لانها تقطع كل جزيء عشوائيا وهذا يؤدي الى انتاج مجموعة عشوائية من القطع ذات الاحجام المتباينة. المطلوب هو طريقة لتقطيع جزيء الحامض DNA عند مواضع قليلة محددة بكل دقة بحيث ينتج مجموعة صغيرة متجانسة من القطع (١٤ - ١). المعدات اللازمة لذلك هي الانزيمات المسماة باندونوكليزات التقييد (الشكل ١٤ - ١).

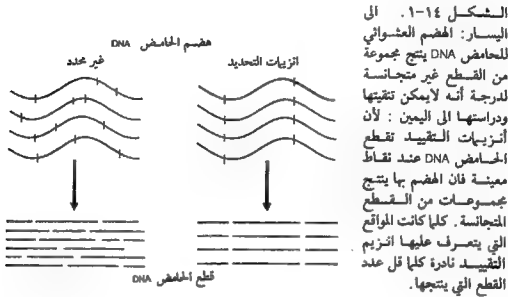
#### RESTRICTION ENDONUCLEASES

#### اندونوكليزات التقييد

اندونوكليزات التقييد هي انزيمات لتقطيع الحامض DNA الموجود في البكتيريا. والذي يجعل منهم معدات هامة هو ان كل منهم يتعرف على ويقطع خيوط الحامض DNA فقط عند تتابع معين من النيوكليوتيدات. فمثلا البكتيريا *Hemophilus aegypticus* تنتج انزيما - يسمى Hae III - يشطر الحامض DNA كلما صادفه التتابع  $5' \text{GGCC} 3'$

يحدث الإشتطار بين القاعدتين G , C المتجاورتين وإذا كان الحامض DNA موجودا في صورة حلزون مزدوج فان الخيطين ينقطعان.





يحدث هذا التابع بالذات عند ١١ موضع على الجزيء الحلقي للحامض DNA في الفيروس  $\phi$  X 174 ولذلك فإن معاملة الفيروس بهذا الانزيم تنتج ١١ قطعة مختلفة لكل منها طول محدد وتتابع ثابت للنوكليوتيدات. يمكن فصل هذه القطع عن بعضها وتحليل التابع في كل منها.

#### SEQUENCING DNA

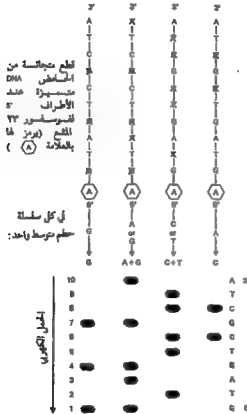
#### التتابع في الحامض DNA

تم تطوير ثلاث طرق لتحديد الترتيب الدقيق للنوكليوتيدات في قطعة من الحامض DNA اثنتان منها (وهما المستعملتان في تحديد التابع في الفيروس) تم تطويرهما في معمل سانجر. تستعمل طريقة انزيم DNA polymerase لانتاج نسخ من الخيوط المطلوب تحديد التابع فيها ولذلك تسمى بالطرق «الانزيمية». الطريقة الثالثة تستعمل مركبات غير عضوية لتقطيع الحامض DNA عند نقاط معينة وقد تم تطوير هذه الطريقة الكيميائية بواسطة ماكسام وجيلبرت في جامعة هارفارد.

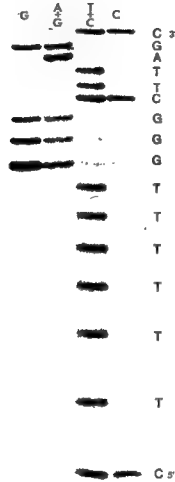
الخطوة الاولى في الطريقة الكيميائية هي التحام جزيء مشع من ATP عند احدى نهايتي (اما ٣' او ٥') كل من الخيطين في القطعة ثم فصل هذه القطعة الى خيوط مفردة ثم تجزئة هذه المادة الى ٤ اجزاء. يعامل كل جزيء بهادة كيميائية تحطم قاعدة أو

قاعدتين معينتين في الخيط . طريقة شائعة هي استعمال مادة كيميائية تحطم السيتوزين (C) فقط و مادة تحطم السيتوزين والثايمين معا (C + T) ومادة تحطم الجوانين فقط (G) ومادة تحطم الادين والجوانين معا (A + G) في الخيط . ويكون التحكم كاملاً في التفاعل الكيميائي في كل حالة بحيث يتقطع الخيط في مكان واحد فقط . ومع ذلك فان تحطيم كل نوع من النيوكليوتيدات (مثل C) يحدث عشوائياً على كل طول السلسلة وتكون النتيجة خليط من القطع مختلفة الاطوال وكل منها مشع . بتحديد طول كل قطعة بعدد النيوكليوتيدات الباقية بين قطعة التقطيع والطرف المشع (الشكل ١٤-٢).

يوضع خليط القطع بعد ذلك في وسط نصف صلب ويجري له حمل كهربائي . يتم توصيل تيار مستمر في هذا الوسط وبسبب الشحنات السالبة على مجموعات الفوسفات تنسحب النيوكليوتيدات نحو القطب الموجب . كلما كانت القطعة صغيرة كانت هجرتها في هذه الخطوة أبعد . وعلى ذلك تكون النيوكليوتيدات المفردة mononucleotides







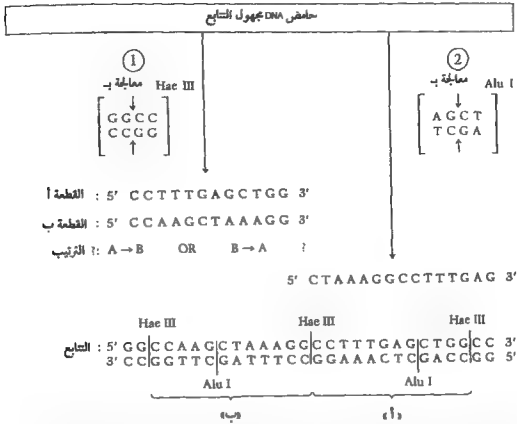
الشكل ١٤-٣. صورة  
الاشعاع الذاتي للجيلاتين  
المستخدم في دراسة التتابع في  
الحامض DNA بالطريقة  
الكيميائية لمالكام وجيلبرت.  
مادة ATP المشعة ارتبطت بالنهاية  
للحامض DNA وعوملت أجزاء  
متفصلة لتحطيم الجوانين (المسار  
الأيسر) أو أدنين مع جوانين  
(المسار التالي) وهكذا تتابع  
القواعد في هذه الحالة هو:

CTTTITTTGGGCTTAGC 3

(بستريج من دافيسيد هويسل).

268

اكثر القطع انتقالات وتأتي بعدها النيوكليوتيدات الثنائية dinucleotides وهكذا. توضع  
لوحة الحمل الكهربائي electrophoretogram على فيلم تصوير لتصوير الاشعاع الذاتي  
autoradiography حيث يتعرض الفيلم للاشعاع أينما توجد قطع مشعة. تصطف  
لوحات الحمل الكهربائي لكل من التفاعلات الاربعة جنباً الى جنب، بمجرد عمل ذلك  
فانه يمكن قراءة تتابع النيوكليوتيدات مباشرة (الشكل ١٤ - ٣). تتحدد المواضع التي  
يوجد بها الادنين (A) على الجزئيء بتحديد المواضع في لوحة الحمل الكهربائي للادنين  
والجواني معا (A + G) والتي لا تظهر في لوحة الحمل الكهربائي للجوانين (G) فقط.



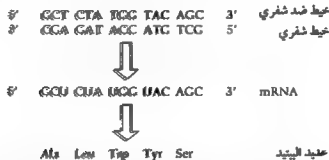
الشكل ١٤-٤ . تحديد الترتيب للقطع التي درس التابع فيها على انفصال من الحامض DNA. باستخدام انزيم تقييد ثاني (Alu I) تنتج قطعة يمر التابع فيها القطع الناتجة من استخدام الانزيم Hae III وبذلك يمكن تحديد ترتيبهم في الجزيء الأصلي.

وبالمثل لتحديد المواضع التي يوجد بها الثايمين (T) بتحديد المواضع التي يوجد بها السيتوزين والثايمين (C + T) معا وليست موجودة في لوحة السيتوزين (C) فقط (الشكل ١٤-٣). وبشيء من الحرص يمكن تحديد التابع في قطع يصل طولها الى ٢٠٠ نيوكليوتيدة من مجموعة واحدة من لوحات الحمل الكهربائي.

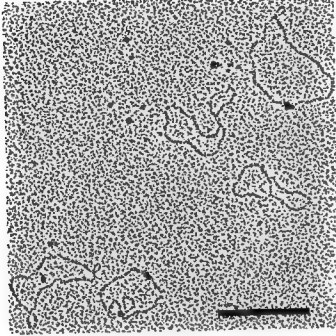
من اجل تحديد التابع في الجزيء الكامل للحامض DNA فلا بد من تحديد ترتيب القطع المختلفة في الجزيء كله . وهذا ممكن عن طريق تحديد التابع في قطع ناتجة من استعمال إنزيم تقييد مختلف restriction endonuclease حيث أن الجزيء قد تقطع الآن عند موضع مختلف فان التتابعات في المجموعة الثانية من القطع سوف تتراكب مع تتابعات المجموعات الاولى (الشكل ١٤-٤).

الكثير من الجينات التي عرف التابع فيها تحمل شفرة بروتينات كان قد تم تحديد تابع الاحماض الامينية فيها . وقد أكدت النتائج تماما صحة الشفرة الوراثية . فالاحماض الامينية التي سبق التنبؤ بها من تابع النيوكليوتيدات في الحامض DNA هي نفسها بالضبط الموجودة في البروتين نفسه . وهذا تأكيد مذهل لصحة الشفرة الوراثية على مستوى الحامض DNA . وفي الواقع فان السرعة والدقة الفائقة التي تتمتع بها طرق تحديد التابع في الحامض DNA جعلت المشتغلين بهذه الطرق يجدون تابع الاحماض النووية في البروتينات حتى قبل ان يتمكن علماء كيمياء البروتينات من ذلك .

على الرغم من أن تحديد التابع في الحامض DNA يؤكد تماما الشفرة الوراثية فان توزيع المهام على الكودونات ليس كما هو مبين في الشكل ١٣-١٣ . فاليمين في هذا الشكل هم كودونات الحامض RNA وليس كودونات الحامض DNA . وبسبب التكامل Complementarity بين الخيطين في الحامض DNA فان هناك في الواقع مجموعتين من كودونات الحامض DNA . جزيئات الحامض RNA يتم نسخها من خيط واحد فقط من خيطي الحامض DNA يسمى بخيط الشفرة Coding strand . عندما تتم قراءة الخيط الشفري في الاتجاه ٣' ← ٥' فان كودوناته تحدد تابع الكودونات على جزيء الحامض mRNA وهذه بدورها تحدد التابع الاحماض الامينية على البروتين من النهاية ن الى النهاية س . ومع ذلك فقد تمجد (مثلا وجد البعض) انه من الملائم قراءة الكودونات المكافئة (أو المتكاملة) على الخيط الاخر (أو الخيط الضد شفري anticoding) . عندما تتم قراءة هذه الكودونات من اليسار الى اليمين (من ٥' الى ٣') فانها تعطي نفس كودونات الحامض mRNA مع احوال الثايمين (T) محل اليوراسيل بالطبع (الشكل ١٤-٥) .



الشكل ١٤-٥ . العلاقة بين تابع القواعد في خيطي الحامض DNA وتابع القواعد في الحامض mRNA الذي يتم نسخه من الخيط الشفري للحامض DNA . يتم تخليق الحامض mRNA بواسطة انزيم الحامض RNA بوليمريز الذي يقرأ الخيط الشفري للحامض DNA في الاتجاه ٣' ← ٥' .



الشكل ١٤-٦.  
صورة بالمجهر  
الالكتروني للحلزون  
المزدوج للحامض النووي  
DNA من الفيروس Ø X 174  
معزول من خلايا بكتيريا  
القولون. الخط السميك  
يمثل نصف ميكرون.  
(بتصريح من الدكتور دافيد  
ت. ديهارت).

## OVERLAPPING GENES

## ٢-١٤ الجينات المتراكبة

كل دقيقة مُعدية كاملة من الفيروس Ø X 174 تتكون من غلاف بروتيني يغلف قلبا من البروتين والحامض DNA. غلاف الفيروس يحتوي على ٦٠ جزيء يتكون كل منها من نوعين من البروتينات (بروتين ف F وبروتين ج G) و ١٢ جزيء من بروتين آخر (البروتين هـ H) أما قلب الدقيقة الفيروسي فانه يحتوي على جزيء واحد من الحامض DNA و ٦٠ نسخة من بروتين رابع هو البروتين جى ل. جزيء الحامض DNA احادي الخيط (SS-DNA) ويأخذ شكل حلقي وبه ٥٣٨٦ نيوكليوتيدة.

حينما يلتصق الفيروس Ø X 174 بالعائل يدخل حامضه النووي DNA احادي الخيط الى الخلية. هنا يعمل خيط الحامض DNA (+) كقالب لتخليق خيط (-) متكامل معه. يكون الخيطان معا حلزون مزدوج (الشكل ١٤-٦). يعمل الحلزون المزدوج بعد ذلك على مضاعفة نفسه عدة مرات بطريقة الالية النصف محافظه المبينة في الشكل ١٢-١٢.

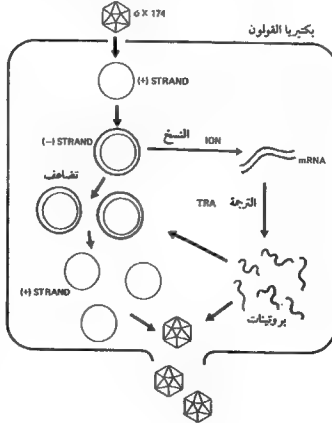
الخيط السالب من جزيئات الحامض DNA يؤدي وظيفتين : (١) يعمل كقالب لتخليق جزيئات الحامض mRNA و (٢) يعمل كقالب لتخليق حوالي ٢٠٠ من الخيوط

المتكاملة معه (+) والتي يعبأ كل منها فيما بعد في قلب دقيقة فيروسية جديدة (الشكل ١٤-٤).

تقوم اليات بتحليق البروتين في خلية العائل بترجمة جزيئات mRNA الفيروس الى عشرة انواع مختلفة من البروتينات . اربعة من هذه (H, G, F, J) تدخل في تركيب دقائق الفيروس الجديدة . الانواع الستة الاخرى (K, E, D, C, B, A) تلعب ادواراً اساسية في عملية التضاعف لكنها لا تصبح جزءاً من دقائق الفيروس الجديدة .

تتراوح البروتينات العشر التي يتسجها الفيروس X 174 في الحجم ما بين البروتين A (الذي يحتوي على ٥١٣ حامض اميني) الى البروتين الذي يحوي على ٣٨ حامض اميني فقط (الشكل ١٤-٨) . تحتوي البروتينات العشر معا على ١٩٨٦ حامض اميني وهذا على الفور يثير تساؤل . اذا كان مطلوب ٣ نيوكليوتيدات لتحديد حامض اميني واحد فان الفيروس X 174 يحتاج الى ٥٩٥٨ نيوكليوتيدة لتحديد ١٩٨٦ حامض اميني

الشكل ١٤-٧ . دورة حياة الفيروس X 174 تتكون الدقيقة الفيروسية من كبسولة بروتينية تضم جزيء حلقي واحد من الحمض DNA وحيد الحيط . هذا الجزيء يحمل الشفرة الخاصة بعشر بروتينات (أنظر الشكل ١٤-١) . بعض هذه البروتينات مطلوب لتضاعف الحمض DNA للفيروس وبعضها يدخل في تركيب الفيروسات الجديدة بينما أحدها يكون مسئولاً عن تحلل الخلايا بحيث يسمح للفيروسات حديثة التخليق بالاقلاص منها .



الشكل ١٤-٨. البروتينات العشرة التي توجد الشفرة الخاصة بها في الطراز الجيني للفيروس  $\phi$ X174 البروتين الأكبر (أ) يشارك في تضاعف الحامض DNA الفيروسي. البروتينات (ف الى و) تدخل في تركيب دقائق الفيروس. البروتينات (ب-د) و (ك) تلعب دورا أساسيا (وان كان غامضا حتى الآن) في دورة حياة الفيروس. على الرغم من أن الطراز الجيني للفيروس  $\phi$ X174 يحتوي على ٥٣٨٦ نيوكليوتيدة فإنه يجعل شفرة كل هذه البروتينات العشر وهو يقوم بذلك عن طريق قراءة نفس تتابع النيوكليوتيدات بعدة اطرار مختلفة للقراءة (أنظر الأشكال ١٤-٩ و ١٤-١٠).

البروتين	عدد الأحماض الأمينية
A ١	٥١٣
B ٢	١٢٠
C ٣	٨٦
D ٤	١٥٢
E ٥	٩١
F ٦	٤٢٧
G ٧	١٧٥
H ٨	٣٢٨
I ٩	٣٨
K ١٠	٥٦
المجموع	١٩٨٦
عدد النيوكليوتيدات اللازمة لحمل شفرة هذه البروتينات العشر : ٥٩٥٨	
عدد النيوكليوتيدات الموجودة في الفيروس $\phi$ X174 : ٥٣٨٦	
الفرق	٥٧٢

(٥٩٥٨ = ٣ ÷ ١٩٨٦) ولكن جزئي. الحامض DNA فيه يحتوي على ٥٣٨٦ نيوكليوتيدة وهو ما يكفي لتحديد ١٧٩٥ حامض اميني فقط.

بالاضافة إلى ذلك فقد اتضح ان ٢١٧ من النيوكليوتيدات لا تقوم بتحديد اي شيء سوى ان بعضها يعمل كإشارات تحكم وبذلك يكون هناك ٥١٦٩ نيوكليوتيدة شفرية فقط ونتوقع ان تكون كافية لتحديد ١٧٢٣ حامض اميني فقط. كيف يتمكن الفيروس  $\phi$ X174 من إملاء عملية تجميع بقية الأحماض الأمينية؟ يقوم الفيروس بذلك عن طريق استخدام بعض تتابعات النيوكليوتيدات في تحديد تتابعين مختلفين من الاحماض



الشكل ١٤-٩. بتحريك اطار القراءة بمقدار نيوكليوتيدة واحدة الى اليمين يحمل نفس التتابع من النيوكليوتيدات الشفرة لتتابع مختلف من الاحماض الامينية.

الامينية وهذا يتضمن قراءة الكودونات في اطارين مختلفين للقراءة اي تجميع النيوكليوتيدات في ثلاثيات منقولة (الشكل ١٤-٩). فمثلا التتابع.

..GAGCCGCAACTTC.....

يمكن قراءته بثلاث اطرآت مختلفة هي :

.GAG CCG CAA CTT C.....

.G AGC CGC AAC TTC..... أو

..GA GCC GCA ACT TC..... أو

يستعمل الفيروس X 174 اثنين من هذه الاطرآت بالفعل وكما ترى فان كلا منها يحدد تتابع مختلف من الاحماض الامينية. وهناك مكان تشترك عنده نيوكليوتيدة واحدة (A) في ثلاثة كودونات مختلفة: فهي النيوكليوتيدة الثالثة في الكودون (AAA) الخاص بالحامض الاميني الآخر (Lys) في البروتين A وهي النيوكليوتيدة الوسطى في الكودون AAT الذي يحدد الاسباراجين (Asn) في البروتين K وهي النيوكليوتيدة الاولى في ATG وهو الكودون الذي يضع الميثيونين (Met) في بداية البروتين C (الشكل ١٤-١٠).

لقد امكن التعرف على الجينات المتراكبة في بعض الفيروسات الاخرى وفي بكتيريا القولون نفسها. ماهي اهميتها؟ أحد الاحتمالات (ولكنه ليس الوحيد بأي حال من الاحوال) انها ببساطة تعمل كوسيلة لرفع كفاءة اختزان المعلومات. الفيروس X 174

الشكل ١٤-١٠. باستخدام

كل من اطرآت القراءة الثلاثة

المحتملة فان هذا الامتداد من

الحامض DNA من الطراز الوراثي

للفيروس X 174 يستطيع أن

يساهم في تخليق ثلاثة بروتينات

مختلفة.

بروتين أ : -- Gly - Lys - STOP

DNA: ...GGA A A A T G A C A A A A ...

بروتين ك : --- Glu - Asn - Glu - Lys ---

بروتين س : Met - Arg - Lys ---

هو واحد من أصغر الفيروسات واستعماله للجينات المتراكبة يمكنه من زيادة كمية المعلومات التي يخزنها في كمية معينة من الحامض DNA.

### ٣-١٤ . استزراع الجينات : CLONING GENES RECOMBINANT DNA الحامض DNA الهجين

تحليل التسابع في جينات الكائنات حقيقية النواة تكتنفه مشاكل خاصة . فالخلية النموذجية في الثدييات تحتوي على حوالي  $4 \times 10^9$  من نيوكليوتيدات الحامض DNA. دعنا نفترض أنك ترغب في تحديد التسابع في الجين الذي يحدد تركيب بروتين يحتوي على ٣٣٣ حامض أميني . هذا يعني أنك تبحث عن تسابع فريد من ١٠٠٠ نيوكليوتيدة موجودة في نسختين (في خلية ثنائية العدد الكروموسومي) وكل منها يتكون من خيط شفري وخيط ضد شفري . المشكلة إذن هي الحصول على هذا الجين الذي يمثل جزءاً من مليون جزء ( $1 \times 10^{-6}$ ) من الحامض DNA الموجود في الخلية ( $4 \times 10^9$ ) + ( $4 \times 10^9$ ) . وهذا بحق كالبحث عن إبرة في كومة من القش . وحتى إذا استطعت الحصول على قطعة الحامض DNA التي تبحث عنها فانك ستواجه مشكلة انتاج نسخ طبق الاصل منها تكفي للحصول على المادة المطلوبة (ميليغرامات قليلة) لتحليل التسابع .

دعنا الآن نفحص بعض الخطوات التي يمكن بها حل هذه المشاكل . هذه الخطوات تشمل على تخليق جزيئات حامض DNA هجين recombinant واستزراع هذه الجزيئات في بكتيريا القولون .

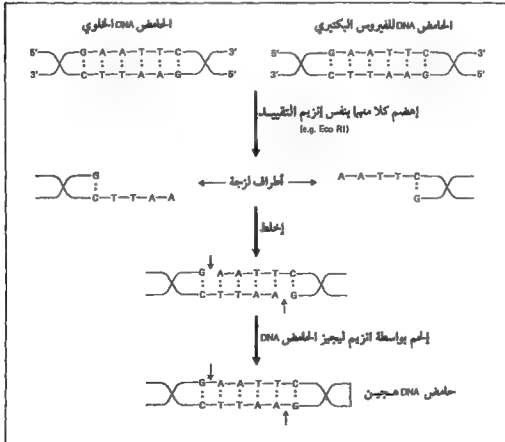
كما علمت من القسمين السابقين فإن البكتيريا هي آلات ذات كفاءة عالية في تجهيز اعداد كبيرة من نسخ متماثلة من الحامض DNA الخاص بالفيروس البكتيري . وما ان يدخل الحامض DNA الفيروسي الى الخلية حتى يتضاعف عدة مرات وتعبأ النسخ على هيئة دقائق مسببة للعُدوي تتحرر من خلية المائل وهي مستعدة لتكرار دورة العُدوي . اذا استطعنا ان نلصق جيناً من حقيقيات النواة الى جزيء الحامض DNA الفيروسي فانه قد يتضاعف بنفس الطريقة . مرة اخرى نلجأ الى إنزيمات التقيد . الانزيم ايكورا EcoRI هو أحد إنزيمات التقيد التي تنتجها بكتيريا القولون وهو يشطر الحامض DNA



فقط عندما يقابل التابع



يتقطع كل خيط من الحلزون المزدوج بين الجوانين والادنين . وكلما حدث ذلك فإن الاطراف المقطوعة من الحلزون المزدوج تحمل طولاً زائداً من اربعة نيوكليوتيدات من الحامض DNA غير المزدوج (أحادى الخيط) . هذه تسمى بالاطراف اللزجة Sticky ends لأنها تستطيع أن تكون أزواج قواعد مع أي جزيء من الحامض DNA يحتوي على أطراف لزجة مكتملة لها . وتتلخص الفكرة في معالجة الحامض DNA



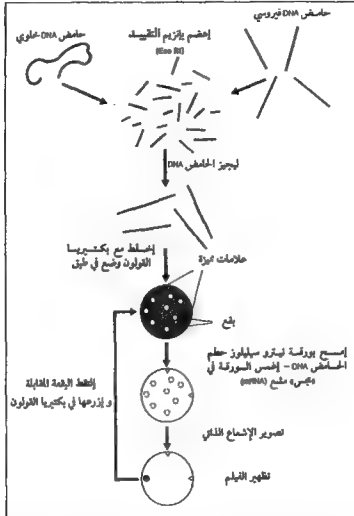
الشكل ١٤-١١ . تكوين الحامض DNA الهجين . عن طريق هضم كلا من الحامض DNA الحلزوني والفيريومي بنفس إنزيم التقطيع فإنه يمكن ربط الأطراف اللزجة لكل منهما بواسطة ازدواج القواعد . يعمل إنزيم ليجيز الحامض DNA على إعادة تكوين روابط تساهمية (مشار إليها بأسم) في كل خيط .

حقيقيات النواة والحامض DNA من الفيروس البكتيري بنفس انزيم التقييد لخلق اطراف لزجة على كل منها تكون متكاملة . وعند خلطها معا تحت الظروف المناسبة فان جزيئات الحامض DNA من حقيقيات النواة ميلتحم مع جزيئات الحامض DNA الفيروسي بواسطة أطرافها اللزجة (الشكل ١٤-١١) .

يمكن بعد ذلك استخدام انزيم الليجيز DNA ligase لربط الجزيئين ببعضهما بروابط تساهمية . بعض هذه الجزيئات الهجين hybrid or recombinant يكون لها نفس مقدرة الفيروس البكتيري على إحداث الإصابة في العائل الفيروسي (بكتيريا القولون) ويمكن الكشف عن ذلك بتعريض مزرعة من بكتيريا القولون *E. coli* لخليط من جزيئات الأحماض الهجين DNA ثم استنبات الخلايا في طبق بتري به آجار . تبدأ الخلايا البكتيرية في التكاثر وتكون كساء رقيقا من الخلايا على سطح الآجار ومع ذلك فان الخلايا التي يكون الحامض DNA الهجين قد نجح في غزوها سوف تقوم بتصنيع الكثير من النسخ الجديدة من هذا الحامض الهجين قبل ان تموت وتحلل . تتكرر الجزيئات المعدية وتغزو الخلايا القريبة منها وتكرر العملية ولا تلبث ان تصبح النتيجة واضحة للعين المجردة على هيئة منطقة دائرية نظيفة أو بقعة في كساء الخلايا (الشكل ١٤-١٢) . كل بقعة تمثل مزرعة نقية "Clone" من جزيئات الحامض DNA ويمكن اكثارها الى مالا نهاية عن طريق عدوى المزيد من خلايا بكتيريا القولون .

على الرغم من ان كل بقعة تنتج مزرعة نقية فريدة من جزيئات الحامض DNA الهجين فان اي قطعة من الحامض DNA من حقيقيات النواة تكون موجودة في البقعة هي مسألة صدف بحتة . هضم كل الحامض DNA الموجود في خلايا كائن من حقيقيات النواة مثل الفأر أو الجرذ بأي أنزيم تقييد ينتج مجموعة بالغة التباين من قطع الحامض DNA وهذه تلتصق بالحامض DNA من الفيروس البكتيري بطريقة عشوائية تامة . استزراع القطع المثلثة لكل الطراز الجيني لأي كائن يسمى الاستزراع ببندقية الرش "shotgun coning" .

المشكلة الآن هي العثور على البقعة (ربما من بين عدة آلاف) التي تحتوي على جين حقيقيات النواة الذي نرغبه . من أجل ذلك تحتاج الى مجس "probe" . دعنا نفترض انك تبحث عن الحامض DNA الذي يحمل شفرة سلاسل الهيموجلوبين في الارنب وكما



الشكل ١٤ - ١٢. استزراع الحامض DNA الهجين باستخدام الحامض DNA الفيروسي كوسيلة للنقل. ينشط الحامض DNA الفيروسي بواسطة أنزيم تقيد فتشاً به أطراف لزجة عند كل نهاية من نهايات خيوطه المفردة. يستعمل نفس الأنزيم لتحضير هيئة من الحامض DNA الغريب (من أحد حقيقيات النواة مثلاً). ترتبط قطع الحامض DNA مع بعضها بمساعدة القواعد المتكاملة عند أطرافها اللزجة وأنزيم ليجيز الحامض DNA. تخلط جزيئات الحامض DNA الهجين مع خلايا حية من بكتيريا القولون وهي العائل للفيروس البكتيري. الجزيئات الهجينة التي استعادت قدرتها على إحداث العدوى تقتل خلايا العائل وتسبب «بقع» في بساط الخلايا غير المصابة. مسح سطح الطبق ينقل بعض الحامض DNA من كل بقعة إلى ورقة ترشيح. بعد فصل الحامض DNA إلى خيوط مفردة يتم تعريض ورقة الترشيح لحامض RNA مشع يحمل تتابع الجين الذي تأمل في استزاعة. تصوير الأشعاع الذاتي يبين أي البقع تحتوي على هذا الحامض DNA (الشكل ١٤ - ١٣). البقعة الإيجابية الأصلية يتحدد موقعها ويمكن استعمال المزيد منها لعدوى بكتيريا القولون وبهذه الطريقة يمكن إنتاج كميات غير محدودة من جين معين في أحد حقيقيات النواة.

رأينا فانه يمكن عزل الحامض mRNA الخاص بشفرة هذه السلاسل من المواد الاولية في خلايا الدم الحمراء للارنب (الشكل ١٣-٧). يمكن تشيع هذه الجزيئات بأحد النظائر المشعة ثم استخدامها في البحث عن البقع التي تحتوي على الحامض DNA الذي يحتوي على التتابعات المتكاملة معها أي تتابعات الحامض DNA التي تنسخ منها تتابعات الحامض RNA الخاص بالهيموجلوبين. هذه هي الطريقة. توضع ورقة ترشيح مصنوعة من النيتروسليلوز برفق على سطح كل طبق آجار يحتوي على بقع. فتمتص ورقة الترشيح بعضا من الحامض DNA من كل بقعة. بعد ذلك يتم تفكيك الحامض DNA الى خيوط مفردة وتنقع ورقة الترشيح في محلول يحتوي على جزيئات الحامض mRNA المشع (الشكل ١٤-١٢). اذا التقى هذا المجس المشع بخيوط متكاملة معه من الحامض DNA فانه يلتحم معها بطريقة واتسون وكريك في ازدواج القواعد. الحامض RNA الذي لم يزدوج يتم غسلة وتوضع ورقة الترشيح على لوحة من فيلم تصوير. أي مساحات تتعرض للاشعاع في هذا الفيلم تمثل البقع التي تحتوي على الحامض DNA المهجين الذي تبحث عنه (الشكل ١٤-١٣).

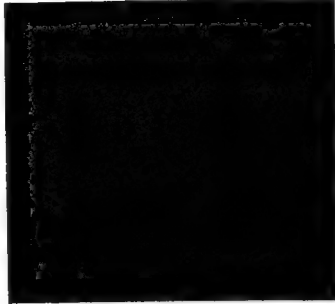
لأن البقع الاصلية لم يحدث لها تلف بهذه الطريقة فانه يمكن اكثر جزيئات اضافية من هذه العينة بالذات من الحامض DNA المهجين في خلايا اضافية من بكتيريا القولون لانتاج كل ما تريده من نسخ عديدة من هذه العينة.

هنا اذن طريقة (و ان كانت ليست الطريقة الوحيدة) للوصول الى الهدف: الحصول على عينة نقية من جين أحد حقيقيات النواه. قد تبدو لك الطريقة معقدة ولكنها في الواقع مباشرة وتحقق الهدف الذي كان منذ سنوات قليلة يبدو مستحيلا.

## ٤-١٤ . الجينات المفصولة

### SPLIT GENES

في عام ١٩٧٧ نجح سوزومو تونيجاوا وهو عالم يعمل في بازل بسويسرا في استزاع قطعة من الحامض DNA بالفأر تحمل معلومات الشفرة الخاصة بجزء من سلسلة عديدة الببتيد صغيرة تستعمل في تخليق الاجسام المضادة. هذه السلسلة عديدة الببتيد الصغيرة تسمى السلسلة الخفيفة للجسم المضاد. (وصف تركيب جزيئات الجسم المضاد موجود في الباب ٢٤). بفحص حوالي ٤٠٠٠ بقعة تمكن تونيجاوا من عزل

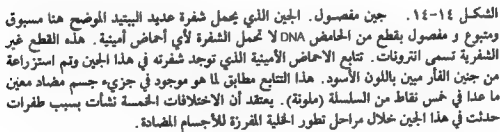


الشكل ١٤-١٣. أعلى:  
 يقع على بساط من خلايا  
 بكتيريا القولون المصابة. كل  
 بقعة تمثل مكان عدوي  
 بحامض DNA فيروسي قد  
 يحمل تسابعات مطابقة  
 لتسابعات الحامض DNA من  
 أحد حقيقيات النواة.  
 الحامض RNA المشع (مثل  
 الحامض mRNA) يستعمل  
 كمجس للكشف عن البقع  
 التي تحتوي على تسابعات من  
 الحامض DNA يمكن أن  
 يلتحم معها المجس بواسطة  
 ازدواج القواعد على طريقة  
 واتسون وكريك.  
 أسفل: إحدى البقع ارتبط  
 فيها المجس المشع بقوة  
 (المربع الأعلى الأيمن).  
 لاحظ العلامات المميزة على  
 صورة الأشعاع الذاتي والتي  
 تساعد في تحديد أي البقع  
 هي البقعة الموجبة (يصريح  
 من الدكتور رولاند و.  
 ديفين).



الفيرس الهجين الذي يحتوي على حوالي ٤٨٠٠ زوج من القواعد في الحامض DNA للفاة التي تحمل شفرة السلسلة الخفيفة والتي تتحد مع الحامض mRNA المجهز من خلايا الفأر المنتجة للأجسام المضادة. تم ارسال ٥ ميلليجرامات من هذه المادة الى جامعة هارفارد للدراسة التابع فيها بالطريقة الكيميائية لمكسام وجيلبرت.

في خلال شهور تمخض هذا التعاون عن التابع الدقيق للنوكليوتيدات في جزء من



الحامض DNA للفار يحتوي على ٧٢٦ زوج من القواعد. النتائج موضحة بصورة تخطيطية في الشكل ١٤ - ١٤. ومن اجل التبسيط سندرس النتائج في الخيط الضد شفري (3' - 5') وان كان النتائج في بعض اجزاء الجزء قد درس في كلا الخطين بصورة مستقلة لكي يستخدم كل منها كاختبار للآخر.

يبدأ التسابع بواحد وثمانين نيوكليوتيدة لا تحمل شفرة لاي بروتين معروف يليها

الكودون ATG والذي يحمل شفرة الحامض الاميني ميثيونين (Met) الذي يبدأ به البروتين. السلاسل الخفيفة للجسم المضاد مثل كل البروتينات التي يكون مصيرها ان تفرزها الخلية يتم تخليقها بحيث تكون اشارة تتابع الكارهة للماء عند النهاية N. هذا التتابع مطلوب لنقل البروتين الى داخل الشبكة الاندوبلازمية الخشنة PER (انظر القسم ٥-٨) ولكنه يستبعد بعد ذلك. تتابع الاشارة به ١٩ حامض اميني اولها هو الميثيونين Met. ابتداء من ATG فان النيوكليوتيدات ال ٤٢ التالية تشكل ١٤ كودون تتطابق تماما مع الاحماض الامينية ال ١٤ التالية في تتابع الاشارة ولكن فجأة يتوقف التطابق فبعد الكودون TCA الذي يحمل شفرة السيرين (Ser) فان النيوكليوتيدات ال ٩٣ التالية لا تتمشى مع أي بروتين في السلسلة الخفيفة أو مع أي بروتين آخر معروف. ومع ذلك فعند نهاية هذه القطعة فان تتابع النيوكليوتيدات يعاود التطابق مرة اخرى مع تتابع الاحماض النووية في السلسلة الخفيفة بادئا بالضبط من حيث انتهى منذ ٩٣ نيوكليوتيدة. وفي الواقع يستمر هذا التطابق لمسافة ٣٠٣ نيوكليوتيدة تحمل الاثنا عشر الاولى منها الشفرة لبقية تتابع الاشارة (اربعة احماض امينية) بينما تحمل البقية الباقية منها الشفرة للاحماض الامينية السبعة والتسعون الاولى لهذا النوع من السلاسل الخفيفة بالفار. القطعة الاخيرة من ٢٠٤ نيوكليوتيدات لا تتطابق مع أي جزء من بقية السلسلة الخفيفة (والتي تحتوي على أكثر من ٢٠٠ حامض اميني).

هنا اذن نمط وراثي مختلف تماما عما هو موجود في الفيروس X 174 (وكذلك عما هو موجود في جميع الجينات البكتيرية). في الفيروس X 174 وفي البكتيريا فانه بمجرد ان يبدأ الجين فانه يستمر حتى يحمل الشفرة لبروتينه كاملا. ولكن الحال ليس كذلك هنا. فالجزء الذي يحمل الشفرة من هذه القطعة الجينية مفصول بقطعتين من الحامض DNA لا تحملا شفرة noncoding. مثل هذه الكودونات التي لا تحمل شفرة تسمى التتابعات البينية intervening sequences أو إنترونات introns. الأجزاء التي تحمل شفرة تسمى الإكسونات exons.

ظهرت كودونات بقية السلسلة الخفيفة للجسم المضاد في قطعة مستزرعة اخرى من حامض DNA للفار. مرة أخرى احتوت هذه القطع على إكسونات (اثنين) مفصولة عن بعضها وبمحاطة بانترونات.

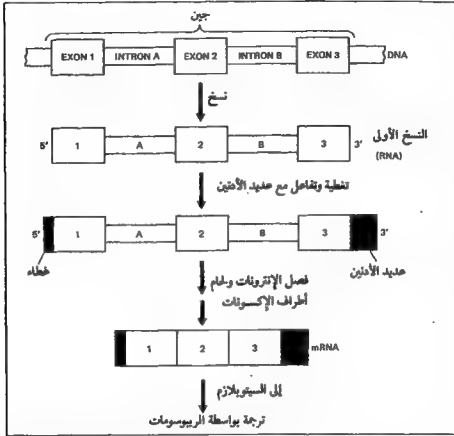
تبين فيما بعد ان الجينات المفصولة هي القاعدة في الكائنات حقيقية النواه. في

اللدجاج فان الجين الخاص بالالفالبيومين (ovalbumin) (البروتين الرئيسي في بياض البيض) يتكون من ثمانية اكسونات مفصولة بسبعة انترونات. جينات الهيموجلوبين أيضا تكون مفصولة أما الجين الخاص بأحد أنواع الكولاجين collagen فقد إتضح أنه مفصول الى ٥٢ إكسون مستقل. وحتى الجينات التي تحمل شفرة للبروتينات اي الجينات الخاصة بتخليق الحامض tRNA والحامض rRNA تكون مفصولة في الكائنات حقيقية النواه. في الواقع الجينات الوحيدة في حقيقيات النواه التي وجد أنها غير مفصولة هي الجينات الخاصة بالانترفرون المضاد للفيروسات (antiviral agent in-terferon) (انظر القسم ١٤-٦).

اكتشاف ان معظم الجينات في حقيقيات النواه تكون مفصولة حل لغزا قديما. هذا اللغز هو عدم القدرة على العثور على جزيئات الحامض mRNA في نواه الخلية. تحتوي النواه في الخلية النشيطة على كميات كبيرة من الحامض RNA ولكن هذه الجزيئات (تسمى الحامض RNA المتباين hrRNA أو heterogenous RNA)، تكون اكبر بكثير من جزيئات الحامض mRNA المتصلة بالريبوسومات في السيتوبلازم. اصبح السبب واضحا الآن: فالجينات المفصولة تنسخ الى نسخ اولية "primary trans-crypts وهي جزيئات حامض RNA كبيرة تمثل كلا من الاكسونات والانترونات. قبل ان تعمل هذه الجزيئات كمراسلات عليها ان تمر بعدة خطوات. أولاً لا بد من وضع غطاء "cap" عند النهاية ٥ من الجزيء وذيل "tail" مكون من خيط من قواعد الادنين (poly-A) عند النهاية ٣ (الشكل ١٣-١٥) ثم تفصل القطع المطابقة للانترونات من الجزيء ثم تلتحم النهايات المقطوعة من الاكسونات مع بعضها. يحدث استئصال قطع الاكسونات على خطوات وعندما يتم استئصال آخر قطعة إكسون فان الجزيء الذي اكتمل الآن من الحامض mRNA ينقل من النواه الى السيتوبلازم حيث يستطيع أداء عمله.

لحظة من التفكير سوف توضح ان تقطيع والتحام RNA لابد ان يتم بكل دقة فلو تبقت نيوكليوتيدة واحدة من إنترون أو تم استئصال واحدة من أحد أطراف الاكسونات فان إطار القراءة من هذه النقطة وما بعدها سوف يتغير. وكما في حالة الجينات المترابكة في الفيروس 174 X Ø (انظر القسم ١٤-٢) فان الكودونات سوف تتحد لتتابع مختلف تماما من الاحماض الامينية من هذه النقطة وحتى نهاية الجزيء. وقد اوضح فحص

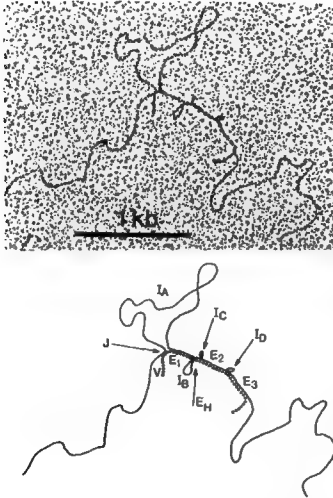




الشكل ١٤-١٥. ترتيب جين مفصول (أعلى) والحمض RNA المنسوخ منه وتحويل هذا المنسوخ الأولي لتكوين جزيء ناضج من الحمض mRNA. الجينات المقصولة شائعة في حقيقيات النواة ولكنها غير معروفة في بدائيات النواة.

تتابع النيوكليوتيدات حول الحدود بين الانترونات في العديد من الجينات المنفصلة عدة تشابهات محددة. فمثلا كل انترون (في الحمض RNA) يبدأ بـ GU وينتهي بـ AG. ومن المحتمل ان هذه التتابعات القصيرة تلعب دورا في ارشاد الانزيمات المعنية بعمليات القطع والالتحام.

يتبين وجود الجينات المقصولة بجلاء عند السباح لجزيء ناضج من الحمض mRNA بالالتحام مع الحيط الشفري من الجين الخاص بهذا المراسل. تترايط اكسونات الجين مع التتابعات المتكاملة معها من جزيء الحمض RNA وذلك يجر الاكسونات الى بعضها البعض ويدفع كل انترون الى تكوين عروة loop تبرز من الجزيء الهجين (الشكل ١٤-١٦) ويمكن رؤيتها بالمجهر الاليكتروني.



الشكل ١٤-١٦. أعلى:  
صورة بالمجهر الإلكتروني  
لجزء مجزئ تكون بخلط  
الحامض mRNA من مزعة  
خلية مفرزة للأجسام المضادة  
مع خيوط مفردة من الحامض  
DNA من نفس النوع من  
الخلايا. الخط السميك يمثل  
الطول المكافئ لآلاف قاعدة.  
الخط المتصل يمثل الحامض  
DNA و الخط المنقط يمثل  
الحامض mRNA. كل أنترن  
تظه حرة (A, B, الخ)  
تفصل بين اكسونات (E<sub>1</sub>,  
E<sub>2</sub> الخ) تحمل شفرات أجزاء  
من جزيء الجسم المضاد.  
طولي الحامض mRNA  
يحتويان على تساميات غير  
موجودة في الحامض DNA  
ولذلك لا تلتحم مع الحامض  
DNA. (من مكي وآخرين -  
عام ١٩٨٠).

لماذا كان العديد من جينات حقيقيات النواة مفصولاً ؟ لا احد يعرف على وجه  
اليقين. هناك بعض الدلائل على انه اثناء عملية التطور تم تجميع العديد من جينات  
حقيقيات النواة من جينات بدائية صغيرة. ربما كانت الاكسونات ببساطة هي البقايا  
التطورية لاجزاء من جينات لم تعد هناك حاجة اليها. بعض البروتينات (مثل الاجسام  
المضادة) تترتب في سلسلة من قطع مستقلة أو "domains" لكل منها وظيفة  
خاصة في الجزئ الكامل. في بعض الحالات على الاقل يتم التشفير لكل من هذه  
القطع المستقلة بواسطة اكسون مختلف. بمحاولة استخدام توليفات مختلفة من  
الاكسونات يستطيع النوع تطوير بروتينات جديدة اسرع بكثير عما لو حاول ذلك  
بواسطة الطفرة العشوائية.

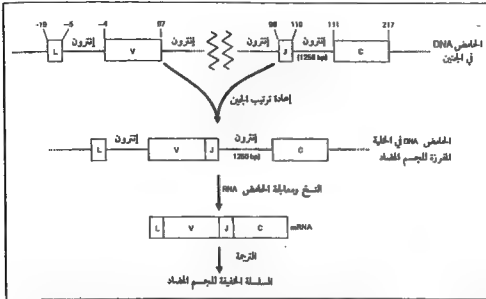
## JUMPRING GENES

## ١٤-٥. الجينات الوثابة

عرفت من القسم السابق ان السلاسل عديدة الببتيد الخفيفة للجسام المضادة يتم تشفيرها بواسطة جينان مفصولان - احدهما يحمل شفرة معظم النصف الاول من السلسلة (وهو يعرف بالمنطقة V region) - انظر القسم ٢٤-٣-و الآخر يحمل شفرة بقية الجزيء. يوجد كلا من هذين الجينين على قطعة مستقلة من الحامض DNA المستزرع من جين الفأر. لا أحد يعرف بالضبط المسافة بين هذين الجينين على الكروموسومات في الخلايا للفأر ولكن ربما كان الفاصل بينها هو عشرات الالاف من النيوكليوتيدات.

عندما استزرع تونيجاوا ومعاونوه الحامض DNA من خلايا تخليق الاجسام المضادة وجدوا أن زوج الجينات الخاص بالسلسلة الخفيفة والمفصولان في الحامض بالجين قد اتصلا ببعضهما البعض. طرف الاكسون الذي يحمل شفرة الاحماض الامينية في الجزء الاول من السلسلة الخفيفة (وحتى الحامض الاميني رقم ٩٧) كان متبوعا بلا انقطاع ببداية الاكسون الصغير الذي يحمل شفرة الاحماض الامينية رقم ٩٨-١١٠ ثم تلا ذلك إنترون من ١٢٥٠ من ازواج القواعد ثم الاكسون الاخير تماما كما كانوا في الحامض DNA بالجين (الشكل ١٤-١٧). بعبارة اخرى انه عند مرحلة ما بعد تكوين الجينين فان الموقع الفعلي لاحد هذين الجينين او لكليهما قد تغير. تحرك واحد من الجينين أو كلاهما معا بحيث أصبحا متجاورين بدلاً من أن يشغلا موقعين متباعدين على الكروموسوم. ومن المثير للاهتمام انه عند فحص الحامض DNA من خلية بالغة لا تفرز اجساما مضادة (مثل خلية كبد) وجدت جينات الاجسام المضادة ولكنها كانت مفصولة كما كانت في الجينين. وهذا يوحي بان احدى خطوات تشكل الخلية المفرزة للجسام المضادة (وتسمى خلية بلازما plasma cell) هي اعادة ترتيب الجينات التي سوف تنشأ عنها سلاسل عديدة الببتيد للجسام المضادة. في الباب ٢٤ سترى ان الجينات التي تحمل شفرة السلسلة الكبيرة (الثقيلة) من جزيئات الاجسام المضادة قد تغير مواضعها عدة مرات خلال مراحل تشكل خلية البلازما.

غير معروف حتى الآن ان كانت الجينات الوثابة تلعب دورا في معظم او كل تشكل الخلايا. ومهما كانت الاجابة على ذلك فانه اصبح واضحا اننا لا نستطيع ان نعتبر



الشكل ١٤-١٧. الجينات الوراثية. الجينات الموجودان في موقعين يميزان على الكروموسوم في خلية الجينين يصبحان متصلين في الخلية البالغة التي تقوم بتخليق نواتجها (السلسلة الخفيفة لجزيء جسم مضاد). ليس معروفاً حتى الآن مدى انتشار ظاهرة إعادة ترتيب الجينات من الأنواع الأخرى من الخلايا البالغة.

L = الأكسون الذي يحمل شفرة تتابع الإشارة.

J = منطقة الربط في الجين.

V = الأكسون الذي يحمل شفرة معظم المنطقة المتغيرة من السلسلة الخفيفة للجسم المضاد.

C = الأكسون الذي يحمل شفرة المنطقة الثابتة.

الأرقام تعبر عن مكان أول وآخر وحدة حامض أميني يحمل الأكسون شفرته.

الطرز الجيني للخلية بمثابة لوح من الرخام توجد مواصفات الحياة مخفورة فيه بطريقة لا تتغير. بالعكس فإن التعبير عن الحامض DNA في الخلية هو عملية ديناميكية.

## ١٤-٦. التوقعات بالنسبة للهندسة الوراثية THE PROSPECTS OF GENETIC ENGINEERING

أرجو أن يكون واضحاً من الأقسام السابقة أن العلم الآن أصبح في وضع يؤهله لدراسة والتعامل مع الجينات بطريقة كانت تبدو مستحيلة منذ عشر سنوات فقط. فالانضطار الدقيق للحامض DNA بواسطة انزيمات التقطيع واستزراع الحامض DNA

المهجين في بدائيات النواه ودراسة التتابع - بل وحتى التخليق النوعي - للجينات قد فتحت احتمالات مثيرة امام استخدام هذه الالات في زيادة رفاهية البشر . وقد تركزت الاحلام والجهود حول نقطتين :

- ١ - حقن جينات حقيقيات النواه في بدائيات النواه (مثل بكتيريا القولون) من اجل تصنيع كميات غير محدودة من بروتين نافع .
- ٢ - حقن جين في خلايا حقيقية النواه ليحل محل وظيفة بها خلل او لاكساب الخلية وظيفة جديدة . حتى الان تم احراز تقدم اكبر في المجال الاول .

استخدام بدائيات النواه لتخليق  
USING PROKARYOTES TO  
SYNTHESIZE EUKARYOTIC PROTEINS  
بروتينات حقيقيات النواه

كان المهدف من استزراع الحامض DNA المهجين ببساطة هو انتاج نسخ كثيرة من احد جينات حقيقيات النواه . ولكن ماذا لو ان البكتيريا لم تنتج فقط نسخا من هذا الجين بل قامت ايضا بالتعبير عنه اي نسخته وترجمته الى منتج بروتيني ؟ العديد من هرمونات الانسان مثل الانسولين insulin هي بروتينات صغيرة او ببتيدات peptides والكثير من ضحايا مرض السكر diabetes mellitus يعيشون الان حياة طبيعية بفضل الحقن المنتظم بالانسولين . ويتم تأمين الانسولين من الابقار والخنازير وبسبب تشابه الكبير مع انسولين الانسان فانه يؤدي وظيفته في الانسان . ومع ذلك فان هذا الانسولين الحيواني ليس له نفس تركيب انسولين الانسان بالضبط وقد يؤدي استعماله احيانا الى بعض الصعوبات مثل تفاعلات الحساسية . وقد يكون العلاج بالانسولين الانسان مرغوبا اكثر ولكنه بدا مستحيلا حتى وقت قريب . يمكن تخليق جزيء الانسولين في المعمل (فهو يحتوي على تتابع دقيق من ٥١ حامض اميني - انظر الشكل ٤-١٧) ولكن بكميات ضئيلة فقط وبتكاليف باهظة . ولكن ماذا لو حقن جين الانسان الخاص بالانسولين في بكتيريا القولون والتعبير عنه ؟ من الناحية النظرية يمكن انماء خلايا بكتيريا القولون في اوعية ضخمة vats فتمخض عن انسولين الانسان الذي يمكن استخلاصه من المزرعة او من الخلايا .

يبدو ان هذا الحلم قد اصبح وشيك التحقيق . وقد تمت تجربة انسولين الانسان الذي قامت بتخليقه البكتيريا في اناس مصابين بمرض السكر ولكن لا بد من ايجاد

حل لعدة مشاكل للوصول الى هذا الهدف. فكما راينا في القسم ١٤-٤ فان جينات حقيقيات النواه تكون مفصولة بينا جينات بدائيات النواه ليست كذلك. بكتيريا القولون من بدائيات النواه وعلى ذلك تنقصها الاليات الانزيمية للتخلص من الاثرونات ولحام الاكسونات من اجل تكوين جزيء فعال من الحامض RNA. من حسن الحظ أنه يمكن (و امكن بالفعل) حل المشكلة باستخدام انزيم يسمى الترانسكريبتيز العاكسي.

#### REVERSE TRANSCRIPTASE

#### الترانسكربتيز العاكس

من بين فيروسات الحامض RNA عدد يستطيع غزو خلايا الثدييات والطيور فيجعل هذه الخلايا تصبح خبيثة malignant أي أن هذه الفيروسات المسببة لفيروسات الاورام تسبب السرطان في مجموعة من حيوانات التجارب. الخلية الخبيثة او السرطانية هي تلك التي تنقسم بطريقة متكررة وغير منضبطة فتكون ورم. تعبر الخصائص الخبيثة من الخلية الاولى الى كل ذريتها بنفس الطريقة بأي صفة متوارثة أخرى.

المادة الوراثية لفيروسات الاورام هي الحامض RNA. كيف يمكن للعدوي بهذه الفيروسات ان تؤدي الى اكتساب الخلية المصابة لصفة وراثية ثابتة؟ في محاولة للاجابة على هذا السؤال بحث هوارد تيمين ودافيد بالتيمور عن انزيم في الخلايا المصابة يمكنه تخليق الحامض DNA المتكامل مع الحامض RNA الخاص بالفيروس المسبب للعدوي. وقد وجداه بسرعة. وقد اثبت اكتشاف هذا الانزيم ان المعلومات الوراثية يمكن ان تنساب من الحامض RNA الى الحامض DNA بنفس الطريقة التي درسناها اي من الحامض DNA الى الحامض RNA الى البروتين. وقد سمي هذا الانزيم بالترانسكربتيز العاكس.

اكتشاف الترانسكريبتيز العاكس مهد الطريق لتكوين جين تستطيع بكتيريا القولون ان تتعامل معه. اولا يتم تحضير الحامض mRNA الخاص بهذا الجين بصورة نقية ثم يستخدم كقالب لتخليق (بواسطة الترانسكريبتيز العاكس) الحيط المتكامل معه من الحامض DNA (وهو يسمى الحامض DNA التكاملي أو cDNA). وهذا بدوره يعمل كقالب لتخليق (بواسطة بوليمرين) الحامض DNA الحيط المتكامل معه (او الضد الشفري) فيتكون حلزون مزدوج كامل. يمكن حقن الجزيء الناتج في بكتيريا

باستخدام الطرق التي وصفناها في القسم ١٤-٣. وحيث ان هذا الجزيء لا يحتوي على اي انترونات فان البكتيريا تستطيع نسخه وترجمته تماما كما تفعل مع جزيئاتها من الحامض DNA. وكما تتوقع فإنه مازالت هناك بعض المشاكل مثل ايجاد الطرق التي تجعل بكتيريا تعبر بكفاءة عن جين بشرى ولكن هذه المشاكل في طريقها الى الحل سريعا. العديد من بروتينات الانسان (ولكن ليس الإنسولين) تحتوي ايضا على سلاسل قصيرة من السكر متصلة بها اي انها جلايكوسبروتينات. هذا هو الحل مع عامل الانترفيرون المضاد للفيروسات مثلا. جميع الثدييات تنتج الانترفيرون ولكن (على خلاف الانسولين) فان إنترفيرون الانسان فقط هو الذي يعمل في خلايا الانسان. وهناك ادلة متزايدة ان الانترفيرون ليس فقط مضاد قوي للفيروسات ولكنه مفيد ايضا في علاج حالات معينة من السرطان لذلك فان الباحثين والاطباء في جميع انحاء العالم حريصون على تأمين اكبر كمية ممكنة من الانتروفين النقي للانسان. وعلى الرغم من أن بكتيريا القولون تستطيع التعبير عن الجينات البشرية الخاصة بالانترفيرون فانها لا تستطيع لصق مجموعات الكربوهيدرات التي تضعها الخلايا البشرية على الجزيء. من حسن الحظ ان المحاولات المبداية تشير الى ان الانترفيرون الختالي من المواد الكربوهيدراتية الذي تقوم البكتيريا بتخليقه يمكن ان يعمل بصورة مرضية. من غير المعروف ما اذا كان الحال كذلك بالنسبة للجليكوبروتينات الأخرى ولكنه يبدو غير محتمل. وعلى اي حال فان هناك تطورا سريعا في مجال الهندسة الوراثية فيما يتعلق ببروتينات بشرية أخرى مثل هرمون النمو (انظر القسم ٢٧-٩) وهرمون آخر يسمى سوماتوستاتين somatostatin (أنظر القسم ٢٧-٧).

ربما يكون إنتاج بعض اللقاحات الجديدة من اوائل النواتج المقيمة لتقنية الحامض DNA. عادة يتم إنتاج اللقاحات المضادة للأمراض الفيروسية من فيروسات خاملة inactivated (مثل لقاح الفيروس «المقتول» لشلل الأطفال الذي حضره جوناس سالك) أو من فيروسات تم إضعافها بحيث لم تعد تسبب عدوي خطيرة وإن كانت مازالت تكسب المناعة (مثل لقاح شلل الأطفال الذي يؤخذ بالفم والذي طوره البرت سابين). ولكن كلا من اللقاح الحي أو المقتول لابد ان يتم تحضيره بعناية فائقة للتأكد من أنه لا توجد به أي دقائق فيروسية كاملة النشاط. وقد كان ذلك عيبا خطيراً في تحضير لقاح مأمون ضد التهاب الكبد ب hepatitis B (أو التهاب الكبد المصلي serum hepatitis) الذي يصيب الانسان وضد مرض الحمى القلاعية

foot-and-mouth disease في الماشية . باستخدام تقنية الحامض DNA المهيّن يمكن تصنيع احد البروتينات السطحية للفيروس بكميات غير محدودة واستخدامه في لقاح خال تماما من اي مواد اخرى ضارة (مثل جيناته) .

أحاط الجدول بمثل هذه الامثلة من الهندسة الوراثية . ماذا لو أن الحامض DNA من فيروسات مسببة للسرطان أصبح جزءا من التركيب الوراثي لاحد الكائنات التي تعيش في أمعاء الانسان (مثل بكتيريا القولون)؟ ما هو مصير المعركة التي لا تنتهي ضد الامراض المعدية لو ان الجينات الخاصة بمقاومة المضادات الحيوية دخلت إلى الكائنات التي تسبب أمراض للإنسان ؟ أو الجينات الخاصة بإنتاج السموم مثل سم الدفتيريا وسم الكوليرا وسم التيتانوس؟ انه الخوف من هروب مثل تلك الكائنات هو الذي أدى الى ذلك الجدول حول ادخال حامض DNA الى البكتيريا .

وضع جينات في حقيقيات النواة PUTTING GENES INTO EUKARYOTES

المجال الثاني الذي تفتحت آفاقه بواسطة التقدم في الهندسة الوراثية هو احتمال حقن جينات فعالة في خلايا حقيقيات النواة . خذ مثلا الفوائد المتوقعة من امكانية حقن الجين الخاص بالسلسلة بيتا في الهيموجلوبين أ في منشئات الخلايا الحمراء لضحية متماثل اللاقحة بالنسبة للانيميا المنجلية . النجاح في هذا المضمار سوف يمكن المريض من تخليق HB<sup>a</sup> بالإضافة الى HB<sup>s</sup> وبذلك يكتسب الطراز المظهري المرغوب لتباين اللاقحة . اوخذ مثلا الفوائد المرجوه من امكان حقن الجينات (من بدائيات النواة - انظر القسم ٤١-٥) الخاصة بتثبيت النتروجين في كائن من حقيقيات النواة مثل الذرة أو القمح أو الأرز إذا إستمرت هذه الجينات في أداء وظائفها فان ذلك من شأنه أن يختزل كمية الاسمدة الكيميائية اللازمة لهذه المحاصيل الحيوية .

لابد من التغلب على عدد من العقبات الجسيمة عند محاولة ادخال معلومات وراثية جديدة إلى خلية حقيقية النواة . أولا لابد أن يكون في مقدورك أن تتعرف على وتعزل المعلومات الوراثية التي تريد استغلالها فقط مع التأكد من أنها لا تشتمل على أي معلومات وراثية دخيلة قد تتسبب في حدوث أضرار . ثانيا لابد من إيجاد وسيلة لادخال هذا الحامض DNA الغريب الى الخلية المتلقية . ثالثا لابد ان تتمكن الخلية المتلقية من تصاعف هذا الحامض DNA الذي اكتسبته بين كل عمليتي انقسام خلوي . رابعا لابد



ان تتمكن الخلية من التعبير عن هذا الجين الجديد اي لا بد انها تستطيع ان تنسخ وترجم هذا الحامض DNA للدخيل بالنسبة لجينات بدائيات النواه فان ذلك قد يشكل مشكلة خاصة فتهما مثلما ان بدائيات النواه لا تستطيع ان تتناول الجينات المفصولة فانه يبدو ان حقيقيات النواه لا تستطيع ان تتقبل الحامض DNA التكاملي وهو غير مفصول.

تمت محاولات عديدة لحقن جينات في خلايا الثدييات . طريقة تهجين الخلايا الجسدية (وصفها موجود في الباب ١١) تسمح لخلايا احد الانواع بالتعبير عن المعلومات الوراثية من نوع اخر . بالاضافة الى لحام خلايا كاملة مع بعضها فقد تم التوصل الى نتائج مشابهة عن طريق ادخال نواه اجنبية الى الخلية المثلثية (انظر القسم ٥-٣). في الواقع فان خلايا الفأر المعرضة لكروموسومات معزولة من الانسان تستطيع اكتساب ونسخ والتعبير عن جينات الانسان . وقد وجد بعض الباحثين ان الخلايا الثديية النامية في مزارع الانسجة يمكنها ان تمتص حتى الحامض DNA النقي وتدخله في طرازها الجيني . هذا يمثل تحول يوازي تماما التحول التاريخي الذي حققه افري ومساعدوه مع بكتيريا النيوموكوكاي في عام ١٩٤٣ . طريقة اخرى تبشر بالنجاح هي تحضير عينة نقية من حامض DNA هجين مستزرع يحتوي على الجين او الجينات المرغوبة وحقن احد هذه الجزئيات في الخلية بواسطة ابرة بالغة الدقة (هذه الطريقة يوجد لها وصف تفصيلي في المقالة التي كتبها اندرسون ودياكوماكوس وموجودة في نهاية هذا الباب).

في اوائل هذا الباب راينا كيف انه يمكن استخدام الفيروس البكتيري في حمل جين معين الى داخل الخلية التي يصيبها . يمكن اتباع أسلوب مشابه مع خلايا الثدييات . تمكن بول برج الحائز على جائزة نوبل من ربط الجين الخاص بالسلسلة بيتا من هيموجلوبين الارنب الى الفيروس SV 40 . هذا الفيروس قد حمل معه جين الارنب الى داخل خلايا القرد حيث تم بنجاح تضاعف ونسخ وترجمة الجين الى جزئيات جلوبيين الارنب . ولكن معروف أيضا ان الفيروس SV 40 يصيب انواعا اخرى من الخلايا . في الفئران تسبب الاصابة بالفيروس SV 40 حدوث سرطان . ولذلك فان استخدام أحد فيروسات الانسان في ادخال جين مرغوب الى خلايا ضحية بشرية من ضحايا الانيميا المنجلية مثلا يحمل في طياته مخاطر حقيقية .

في جميع هذه الامثلة كانت الخلايا الثديية المتحولة نامية في مزارع انسجة ومع ذلك ففي عام ١٩٨١ نجحت ثلاث مجموعات من الباحثين في ادخال جينات اجنبية الى فئران حية. تم ذلك بحقن حامض DNA يحتوي على الجينات الاجنبية (بما فيها جين لهيموجلوبين الأرنب في احدى الحالات وانسرفيرون الانسان في حالة اخرى) في البويضات المخصبة للفأر. وعند وضعها في رحم انثى الفأر نمت بعض هذه البويضات بنجاح. وكانت الفئران الوليدة تعبر عن الجينات الاجنبية واستمرت كذلك حتى اكتمل بلوغها. ومن اهم ما حدث انه عند تزواج هذه الفئران مع فئران عادية فان بعض النسل كان يعبر ايضا عن الجينات الاجنبية. لم يتغير الطراز الوراثي للخلايا الجسدية فحسب ولكن تغير الطراز الوراثي للخلايا التناسلية كذلك.

كيف يمكن لمثل هذه الوسائل ان تفيد ضحايا احد الامراض الوراثية مثل عدم القدرة على تصنيع السلسلة بيتا للهيموجلوبين؟ احد الاحتمالات هو اخذ بعض الخلايا المصابة من المريض وتحويلهم (اي ادخال جينات جيدة اليهم) في مزارع نسيجية ثم إعادتهم الى المريض. ولكن كل طرق التحويل هذه قليلة الكفاءة حيث ان عددا قليلا جدا من الخلايا هو الذي يلتقط الجينات الجديدة. كيف يمكن لهذا العدد القليل جدا من الخلايا ان يزيح الاعداد الكبيرة من الخلايا المصابة الموجودة في المريض ويحل محلها؟ أحد الاساليب هو تحويل خلايا المريض عن طريق اكسابها اثنين من الجينات: جين للصفة المرغوبة (مثل تصنيع السلسلة بيتا للهيموجلوبين) وجين يكسبها مناعة ضد أحد العقاقير المضادة للانتقسام غير المباشر antimitotic مثل أحد العقاقير المضادة للسرطان. وعندما يسترد المريض هذه الخلايا يعطى في نفس الوقت جرعة صغيرة من هذا العقار وذلك يعطي الخلايا القليلة المتحولة ميزة تنافسية تمكنهم من الاحلال على الخلايا العديدة غير المتحولة المحيطة بهم. وقد تمت تجربة هذا الاسلوب على بعض الأدميين ولكنه مازال في حاجة الى المزيد من الدراسات لتقدير ما اذا كان صالحا كاسلوب للعلاج.

### ملخص الباب

### CHAPTER SUMMARY

توجد الان طرق لعزل جينات مختارة واكتشافهم (استزراعهم) وتحديد تتابع النيوكليوتيدات فيهم.

بعض الفيروسات مثل  $\phi$  X 174 تستخدم جينات متراكبة وعن طريق زجرجة «إطار القراءة» الذي تتم نسخ ثلاثيات الكودونات به يمكن إيجاد الشفرة الخاصة بأجزاء من سلسلة ثانية وربما ثالثة من عديد الببتيد في نفس التسابع من الحامض DNA وبهذا الأسلوب يستطيع الكائن ان يضغط كمية اكبر من المعلومات في كمية محدودة من الحامض DNA.

جينات حقيقيات النواه مثلها مثل جينات بدائيات النواه يمكن استزاعها بحقنهم في قطعة من الحامض DNA تستطيع خلايا عائل بكتيري ان تضاعفها . وتستطيع الفيروسات البكتيرية والبلازميدات القيام بهذه المهمة . التحام الحامض DNA الغريب مع الحامض DNA من الفيروسات البكتيرية او البلازميدات ينتج الحامض DNA المهجين recombinant.

تتكون أغلب جينات حقيقيات النواه من إكسونات - قطع تحمل شفرة لجزء من سلسلة عديد الببتيد - متبادلة مع قطع غير شفرية تسمى إنترونات . والاكسونات تتم ترجمتها الى «نسخ اولية» كبيرة من الحامض RNA. عند معالجة هذا الحامض يتكون الحامض mRNA الناضج والمعالجة تشمل استبعاد القطع التي تمثل الانترونات ثم تلاحم اطراف القطع التي تمثل الاكسونات .

خلال مراحل تكوين الخلية التي يتم إعدادها لتخليق احد الاجسام المضادة فانها تقوم باعادة ترتيب مواضع الجينات التي تحمل شفرة هذا الجسم المضاد . وعلى الرغم من ان هناك امثلة اخرى معروفة لمثل هذه الجينات المتنقلة فانه مازال غير معروف إن كانت هذه الظاهرة تحدث بصفة عامة اثناء مراحل تكوين الخلية في حقيقيات النواة .

توجد الآن طرق لغرس جينات اجنبية في حقيقيات وبدائيات النواه على حد سواء وجعل هذه الجينات تناسخ وترجم بكفاءة . هذه الطرق لانتاج حامض DNA هجين يتم استغلالها حاليا في تصنيع بروتينات بشرية وغير بشرية ذات قيمة عالية بواسطة البكتيريا والخميرة . كما ان هناك ايضا احتمال ان تساعد هذه الطرق في اصلاح وظائف جينية تالفة في حقيقيات النواه او في اكسابها وظائف جينية جديدة (مثل جعل احد حقيقيات النواه مثل القمح قادرا على تثبيت النتروجين بغرس جينات من بدائيات النواه فيه) .

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

١ — ماهو تتابع الاحماض الامينية الذي يتجمع بواسطة ريبوسوم يقوم بترجمة الرسالة  
 5' ↑ G ↑ C ↑ AUGGCGUUUGAAC 3' في اطار القراءة الذي يبدأ  
 ١ ٢ ٣

عند النقطة ١ عند نقطة ٢ وعند نقطة ٣؟

٢ — اكتب بنفس ترتيب تجمعهم تتابع النيوكليوتيدات في جزيء الحامض mRNA  
 الذي يتم تخليقه من خيط الحامض DNA الذي يحتوي على التتابع

5'CCGATCATCAGTAGC3

٣ — كم عدد القطع من الحامض DNA التي تتكون عند معاملة التركيب

5'..TGGAATTCCGGCCTTA..3'

3'..ACCTTAAGGCCGGAAT..5'

بخليط من انزيمي التقيد Hae III, Eco RI ؟ اكتب تركيب كل قطعة.

## REFERENCES

## المراجع

1. FIDDES, J.C., "The Nucleotide Sequence of a Viral DNA", Scientific American Offprint No. 1374, December, 1977. The story of Q x 174.
2. COHEN, S. N., "The Manipulation of Genes", Scientific American, Offprint No. 1324, July, 1975. One of the pioneers in the cloning of recombinant DNA describes the procedures involved.
3. NOVICK, r.P., "Plasmids", Scientific American, Offprint No. 1486, December, 1980. Plasmids are small, independent DNA molecules in bacteria that can be used for cloning foreign DNA.
4. CHAMBON, P., "Split Genes", Scientific American. Offprint No. 1496, May, 1981.
5. CHOEN, S.N., and J.A. SHAPIO, "Transposable Genetic Elements", Scientific American, Offprint No. 146. February, 1980. Discusses the behaviour of several kinds of jumping genes.
6. TEMIN, H.M., "RNA-Directed DNA Synthesis", Scientific American,

- Offprint No. 1239, January, 1972. About reverse transcriptase.
7. GILBERT, W., and LYDIA VILIA - KOMAROFF, "Useful Proteins from Recombinant Bacteria", Scientific American, Offprint No. 1466, April 1980. A superb account of the various procedures used in the genetic engineering of prokaryotes.
  8. ANDERSON, W.F., and ELAINE G. DIACUMAKOS, "Genetic Engineering Mammalian Cells", Scientific American, Offprint No. 1500, July 1981. How cells in tissue culture are transformed by injecting DNA molecules into them.
  9. JUDSON, H.F., The Eighth Day of Creation, Simon and Schuster, New York, 1979. A fascinating narrative account of the development of molecular genetics and the scientists who did the work. Includes the story of messenger RNA and the breaking of the genetic code.
  10. GROBSTEIN, C., "The Recombinant - DNA Debate", Scientific American, Offprint No. 1362, July, 1977. Besides discussing the political issues, the author gives a clear account of the techniques used, including "shotgun" cloning.



## CHAPTER 15

## الباب الخامس عشر

### تنظيم التعبير عن الجينات

### THE REGULATION OF GENE EXPRESSION

MODULATION OF GENE ACTIVITY	١-١٥ . التغير في نشاط الجينات
MODULATION IN EUKARYOTES	٢-١٥ . التغير في حقيقيات النواة
THE GIANT CHROMOSOMES AND	٣-١٥ . الكروموسومات العملاقة
DIFFERENTIAL GENE ACTIVITY	والنشاط التفاضلي للجينات
TRANSLATION CONTROLS	٤-١٥ . ضوابط الترجمة
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل
REFERENCES	المراجع





## الباب الخامس عشر

### تنظيم التعبير عن الجينات

#### ١٥ - ١ . التغير في نشاط الجينات MODULATION OF GENE ACTIVITY

كل الخلايا لديها القدرة على الاستجابة لاشارات معينة تصل اليها من بيئتها . خذ مثلاً صديقنا المألوف بكتيريا القولون *Escherichia coli* . في داخل الخلية الضئيلة تحتوي بكتريا القولون على المعلومات الوراثية التي تحتاج اليها لأداء وظائف الأيض و النمو والتكاثر . وكما رأينا في الباب ٩ فإنه يمكنها تخليق كل ما تحتاج اليه من الجلوكوز وعدد من الأيونات غير العضوية . ولذلك نتوقع أن تحتاج الى عدد كبير من الانزيمات لتمام هذا العدد الهائل من عمليات التخليق وقد يوجد ٦٠٠ الى ٨٠٠ انزيم في الخلية تحت هذه الظروف . معظم هذه الانزيمات يكون موجودا في كل الاوقات ومع ذلك هناك إنزيمات اخرى لا يتم إنتاجها الا عندما تحتاج الخلية اليها فقط . على سبيل المثال عند اضافة الحامض الاميني أرجنين الى المزرعة فإن الخلية تتوقف مباشرة عن انتاج الانزيمات التسعة التي كانت تحتاج اليها من قبل لتخليق الأرجنين من مواد بسيطة تنتج أثناء تنفس الجلوكوز . في هذه الحالة إذن فإن وجود نواتج النشاط الانزيمي يكبت تخليق الانزيم .

على العكس من ذلك عند اضافة مادة تفاعل Substrate جديدة الى المزرعة فإن ذلك قد يشجع على تكوين انزيمات جديدة تستطيع أيض هذه المادة . فإذا أخذنا مزرعة من بكتريا القولون تغذى بنشاط على الجلوكوز ونقلناها الى وسط غذائي يحتوي على اللاكتوز تقع سلسلة من أحداث ذات مغزى . في البداية تكون الخلايا هامة Quiescent : لا تقوم بإيض اللاكتوز وتقل حدة نشاطها الأيضي وتتوقف انقسام الخلايا . ولكن سرعان ما تعود المزرعة الى النمو بنشاط مرة أخرى ويحدث استهلاك

سريع لللاكتوز. ماذا حدث؟ أثناء فترة الحمل بدأت الخلايا في إنتاج الانزيمات الثلاثة التي لم تكن تنتجها من قبل.

أحد هذه الانزيمات ويسمى البريمييز Permease ينقل اللاكتوز عبر غشاء الخلية من الوسط الغذائي الى داخل الخلية. الإنزيم الثاني ويسمى بيتا جالاکتوسيديز beta galactosidase - يقوم بتميؤ اللاكتوز (وهو سكر ثنائي) الى الجلوكوز والجالاكتوز. ويمجرد أن يوجد اللاكتوز ترتفع بسرعة كمية البيتا جالاکتوسيديز في الخلية من الصفر تقريباً الى حوالي ٣٪ من وزن الخلية. (أهمية الإنزيم الثالث في أيض الخلية مازالت غير مؤكدة).

مقدرة الخلية على الإستجابة الملائمة لوجود اللاكتوز كانت دائماً موجودة. الجينات الخاصة بالانزيمات الثلاثة هي جزء من الطراز الجيني لكل خلية من خلايا بكتريا القولون. ولكن حتى وقت ظهور اللاكتوز في الوسط الغذائي للمزرعة لم يكن يتم التعبير عن هذه الجينات. سوف نستعمل كلمة التغير modulation لوصف بدء وإيقاف التعبير عن المعلومات الوراثية في الخلية كاستجابة للتغيرات التي تحدث في بيئتها.

كل من هذه الانزيمات توجد الشفرة الخاصة به على جين مستقل. يوضح التحليل الوراثي أن هذه الجينات الثلاثة المسماه جينات تركيبية structural genes والتي هي مرتبطة ببعضها وظيفياً تكون في الواقع شديدة الترابط على الكروموسوم البكتيري. ما الذي يجعلها تبدأ عملية إنتاج انزيماتها أو بالأحرى ما الذي يمنعها من إنتاج الانزيمات قبل ان تنشأ الحاجة اليها؟

جين اخر يسمى الجين المنظم regulator gene هو المسئول عن ذلك. وظيفة الجين المنظم هي إنتاج بروتين يمنع الجينات التركيبية الخاصة بالبيتا جالاکتوسيديز.. الخ من أن تعبر عن أنفسها. البروتين المنظم الذي يسم بالكابت repressor لا يفقد الجينات التركيبية نشاطها مباشرة ولكنه يكبت جين صغير (طوله ٢٧ من أزواج القواعد فقط) مجاور لهم مباشرة ويسمى جين التشغيل operator (الشكل ١٥-١). مجموع جين التشغيل و الجينات التركيبية المرافقة له يسمى وحدة التشغيل operon. وربما كان دور جين التشغيل عندما لا يكون مكبوتاً بالمنظم هو فصل خطى الجزء من الجامض DNA الذي يحتوي على الجينات التركيبية الثلاثة حتى يمكن نسخ أحد الحيطين بواسطة.



انزيم بوليميريز الحامض RNA الى جزيء مفرد من الحامض mRNA وتقوم الريبوسومات المرحلة على هذا الجزيء بترجمة الرسائل الى عديدات الببتيد التي تتركب منها الانزيمات الثلاثة . (تستطيع أن ترى لماذا كانت كودونات التوقف UAA أو UAG أو UGA مطلوبة لانهاء تخليق عديدات الببتيد بين أجزاء الحامض mRNA الذي يحمل الشفرة الخاصة بالانزيمات الثلاثة) .

ما الذي يحدد اذن ان كانت المادة الكابتة التي ينتجها الجين المنظم فعالة؟ في الحالة التي وصفناها فان وجود اللاكتوز في حد ذاته هو الذي يمنع الكابت من ممارسة تأثيره على جين التشغيل . يتحد اللاكتوز مع الكابت وهو بروتين وكتيجة لذلك قد يتغير شكل البروتين بدرجة كافية تجعله غير قادر على الاتحاد مع جين التشغيل ومن ثم فقد له نشاطه . وبذلك يمكن أن يبدأ تخليق البيتا جالاكتوسيديز والانزيمين الاخرين .

الالية التي وصفناها هنا توصل اليها العالمان الفرنسيان فرانسوا جاكوب وجاك مونود لتفسير وراثة النشاط الانزيمي وقد نالا عنها جائزة نوبل في عام ١٩٦٥ .

كما رأينا فان نشاط بعض الجينات يمكن كبته . الجينات التسعة المعنية بانتاج انزيمات تخليق الأرجينين وجدت متجمعة في ست وحدات تشغيل منفصلة ومع ذلك فان جين منظم واحد يستجيب لوجود الأرجينين ويكبت كل وحدات التشغيل الست ومن المحتمل أن الجين المنظم ينتج كابت يعطل كل وحدات التشغيل الست حينما يكون الكابت متحدا مع الأرجينين أي مرافقه الكبتسي corepressor (الشكل ١٥-١) . فائدة هذه الالية للخلية واضحة . فوجود مادة أيضية أساسية يوقف تخليق الانزيمات الخاصة بتصنيع هذه المادة نفسها وبذلك يمتنع تخليق بروتينات غير لازمة في الخلية .

وكما يبدو من الاسم فان الكابت ليس إلا اليه سلبيه للتحكم . وقد ثبت حديثا أن بعض عمليات نسخ الجينات تقع أيضا تحت تحكم إيجابي . فقد شاهدنا أن الفيروس البكتيري الذي يغزو خلية يستحوذ على الكثير من النشاط الايضي للخلية العائل له ويستخدمه في انتاج صور عديد من نفسه . عندما تبدأ بكتيريا القولون في نسخ وترجمة جينيات أحد الفيروسات البكتيرية التي تصيبها (ويسمى T4) فان واحدا من أوائل البروتينات الفيروسية التي يتم تخليقها يتحد مع انزيم بوليميريز الحامض RNA الخاص

بالبكتيريا ويدلّ ذلك على أن هذا البروتين الفيروسي كفاءة بوليميريز الحامض RNA في نسخ جينات العائل ويرفع كثيرا من كفاءته في نسخ جينات فيروسية أخرى.

الكثير من البكتيريا (ليس من بينها بكتيريا القولون) تكون جراثيم كامنة عندما تأخذ الظروف البيئية في التدهور وهذا يتضمن التعبير عن جينات لم تكن فعالة . ومن المثير للاهتمام فإن التركيب الجزيئي لبوليميريز الحامض RNA البكتيري يتغير في هذا الوقت وتكون النتيجة أنه يحول نشاطه في النسخ من الجينات المتعلقة بالنمو الخضري الى أولئك المسئولين عن تكوين الجراثيم.

هنا اذن آليتان إحداهما سلبية والاخرى إيجابية يتغير بهما التعبير عن المعلومات الوراثية في الخلية البكتيرية . كل منهما تعمل عن طريق تنظيم (كبت أو تشجيع) النسخ الانتخائي selective transcription للجينات الى جزيئات الحامض mRNA.

## ١٥-٢. التغير في حقيقيات النواة MODULATION IN EUKARYOTES

ماذا عن حقيقيات النواة؟ هل يستعملون أجهزة لتنظيم النسخ تشبه تلك الموجودة في بدائيات النواة؟ من المؤكد ان خلايا حقيقيات النواة تمارس التغير modulation. خذ مثلا خلايا البويضات في الانسان . فقبل أن يولد الجنين المؤنث بعده شهور يحجز في مبايضه الخلايا المنشئة لكل البويضات التي ستكون بالأنثى طوال حياتها . لمدة إثنتي عشرة سنة أو نحو ذلك تظل هذه الخلايا المسماه بخلايا البويضات صغيرة وخاملة ومتجمدة عند منتصف الإنقسام الإختزالي الأول . وعند بلوغ سن الحلم puberty تبدأ خلايا البويضات (عادة واحدة كل شهر) مرحلة من النمو والتطور السريع جدا وتشمل إتمام الإنقسام الإختزالي الأول وبداية الثاني . هذه التغيرات الكبيرة تفجرها المستويات المتصاعدة للهرمونات في الدم . بدون هذا الحافز من الهرمونات لن تبلغ المنشآت الضئيلة للبويضات مرحلة النضج أبدا.

هنا اذن مثال في خلية حقيقية النواة على التغير في نشاط الجينات : التعبير الجديد عن معلومات وراثية موجودة من قبل إستجابة لاشارة بيئية متغيرة . وهي تدلنا على أنه كما في حالة بكتيريا القولون فان خلايا حقيقيات النواة تحتوي على معلومات وراثية أكثر مما تستعمله في أي وقت من الأوقات . ولكن بأي آليات يمكنها تحقيق مثل ذلك

## النشاط الجيني الإنتخابي؟

على الرغم من أن الضوابط النسخية توجد في حقيقيات النواة بلا شك إلا أن الدليل على وجود بروتينات الكبت وجينات التشغيل مازال ضعيفا . وجدت جينات تؤثر على التعبير عن جينات أخرى في حقيقيات النواة مثل الفطريات والذرة والقران ولكن آلية ممارستها لهذا التأثير مازالت غير معروفة .

ربما كان من الحق أن نتوقع وجود ضوابط نسخية في حقيقيات النواة من نفس النوع الموجود في بدائيات النواة . فهاتين المجموعتين المتباعدتين من الكائنات تختلفان كثيرا في طريقة التعبير عن المعلومات الوراثية . حقيقيات النواة (كما يدل الاسم) بها نواة وهي التي يتم فيها نسخ الجينات أما تخليق البروتينات (أي الترجمة) فانه يحدث في السيتوبلازم . في بدائيات النواة يحدث النسخ والترجمة في نفس الوقت (ارجع الى الشكل ١٣-١٢) . في حقيقيات النواة يحدث انتاج الحامض mRNA ثم يتبعه انتقال هذا المراسل الى السيتوبلازم قبل أن تبدأ الترجمة .

تميل المراسلات في بدائيات النواة الى أن تكون غير مستقرة . فبعدة العمل كقوالب في عدد من جولات الترجمة فانها تتحلل وما لم يحل محلها نسخ جديدة فان تخليق البروتينات سرعان ما يتوقف . وعلى ذلك فان الضوابط النسخية تنعكس بسرعة في مستوي الترجمة لبروتين معين . وعلى النقيض من ذلك فان المراسلات في حقيقيات النواة قد تكون مستقرة تماما . ففي الخلية البيضية سريعة النمو مثلا تتكون المراسلات الامية ولكنها لن تترجم إلا بعد عدة أيام من تكوينها وإذا كان قد حدث بها انخفاف فقط .

التغير في خلية البيضة النامية يحدث بسبب التعرض لمستويات متزايدة من الهرمونات الجنسية . هذا المثال للتغير بسبب اشارات هرمونية ليس الا واحدا من أمثلة كثيرة . ففي كل من الحيوانات والنباتات تعمل الهرمونات بقوة على تغير التعبير عن الجينات . ويبدو الان أن بعض تأثيرات الهرمونات على الأقل تعود الى تأثيرهم على نسخ الجينات .

واحد من أكثر أنظمة التغير الهرموني دراسة وتحليلا هو نظام الهرمونات الجنسية الأنثوية وهي الإستروجينات estrogens و البروجيستيرون progesterone .

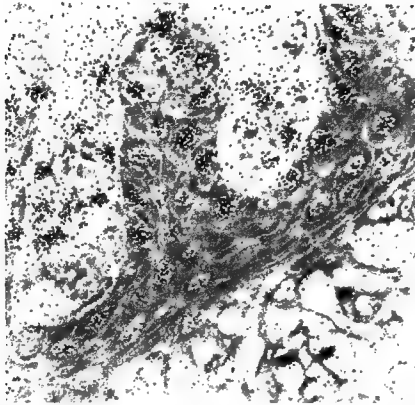
الإستروجينات والبروجيستيرون كلاهما من الستيرويدات (أنظر القسم

٤-٢). من أكثر الأنسجة تأثراً بالإستروجينات هو بطانة الرحم المسماه بطلائية الرحم endometrium. عند تعرضها للإستروجينات يزداد سمكها (إستعداد حدوث الحمل) وتنشط خلاياها أولاً في تخليق RNA ثم في تخليق البروتينات. هذه الاستجابة التي تستغرق عدة أيام لكي تحدث تتضمن بلا شك نشاطاً جينياً جديداً أو على الأقل متزايد. يمكن إعاقة التأثير التنشيطي للإستروجينات على هذه الخلايا بواسطة مضاد حيوي يسمى أكتينومايسين D actinomycin D.

يُمارس الأكتينومايسين (د) تأثيره على الخلايا بطريقة بالغة الدقة فهو يلتحم مع الحامض DNA في الأنوية ويمنع انفصال خططي هذا الحامض وبذلك لا يستطيع جزيء الحامض DNA أن يعمل كقالب لتخليق جزيئات إضافية من الحامض DNA أولتخليق جزيئات الحامض RNA. بدون مدد متجدد من الحامض RNA فإن تخليق البروتينات في الخلية سرعان ما يتوقف. وبذلك توحى إعاقة الأكتينومايسين د لاستجابة خلايا طلائية الرحم لتأثير الإستروجينات بأن الإستروجينات تعمل كمغيرات لنسخ الجينات.

يدعم هذا الإستنتاج ما وجد من أن الإستروجينات تتراكم في أنوية خلايا طلائية الرحم. في الواقع فإنه خلال ١٥ دقيقة من إعطاء إستروجينات مشعة (أوبروجيسترون - الشكل ١٥-٧) إلى حيوانات التجارب مثل فئران التجارب (خنازير غينيا) أو الفئران فإن النشاط الإشعاعي يظهر في أنوية خلايا طلائية الرحم وهذا يحدث أسرع كثيراً من أي زيادة ملحوظة في تخليق الحامض RNA أو البروتين في هذه الخلايا. بالإضافة إلى ذلك فإن تراكم الإستروجينات لا يحدث في كل أنواع الخلايا. فخلايا الكبد والدم مثلاً لا تتراكم الهرمونات في أنويتها. الخلايا المستهدفة "target" cells فقط مثل خلايا طلائية الرحم هي التي تتراكم فيها الهرمونات وهذه الخلايا فقط هي التي يتغير نشاطها بهذه الهرمونات.

ما هي آلية حدوث ذلك؟ الإستروجينات مثل كل الستيرويدات هي جزيئات صغيرة كارهة للماء ولذلك فهي تنتشر بسهولة خلال أغشية الخلايا - كل أغشية الخلايا ونتوقع أن تكون كل خلية في الجسم معرضة لهم عند إنتقالهم مع الدم. وفي الحقيقة تنتشر الإستروجينات بحرية إلى داخل كل الخلايا. ومع ذلك فإنها تنتشر بنفس الحرية إلى خارج الخلايا ماعدا خلايا الأعضاء المستهدفة. في الخلايا المستهدفة (مثل طلائية

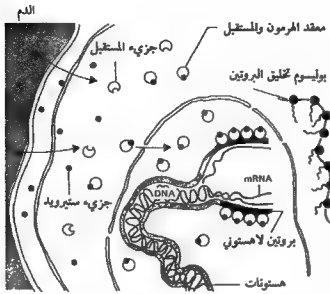


الشكل ١٥-٢. صورة الأشعاع الذاتي لخلايا طلائية الرحم من غنزير غينيا مأخوذة من الحيوان بعد ١٥ دقيقة من حقنه بالبروجيستيرون المشع. تركز النشاط الإشعاعي في أنوية خلايا طلائية الرحم (كما يتضح من الحبوب الداكنة الموجودة في الأنوية). يمكن مشاهدة نفس التأثير عند المعاملة بالاستروجينات المشعة. الخلايا غير المستهدفة لا يوجد بها هذا التراكم للمهرمونات الجنسية الانثوية (يتصريح من مادابانادا سار والتر ابي. ستمف).

الرحم) فانها ترتبط بقوة مع أحد بروتينات السيتوبلازم ويسمى المستقبل receptor. بعد ذلك يهاجر معقد المستقبل والهرمون الى داخل النواة (الشكل ١٥-٣) حيث يتحد هذا المعقد مع كروماتين chromatin النواة.

يحث وصول هذا المعقد تخليق الحامض RNA بغزاره (مالم يكن هذا التخليق قد أعيق بالاكينينومايسين د). تحليل الحامض RNA يكشف عن أنه يشتمل على المراسلات الخاصة ببروتينات معينة سوف يتم تخليقها كتنبيحة للمؤثرات الهرمونية. إذا ما أخذنا مثلاً آخر أحسنت دراسته وهو تعريض خلايا قناة المبيض في الدجاج الى السترويد المسمى بروجيستيرون فاننا نجد ان الخلايا تبدأ مباشرة بتخليق كميات كبيرة





الشكل ١٥-٣. الآلية المقترحة لفعل الهرمونات الستيرويدية. تنتشر جزيئات الهرمون إلى داخل الخلية حيث تتحد مع جزيئات مستقبل خاص في السيتوبلازم. يتحرك معقد الهرمون والمستقبل إلى النواة حيث يتحد مع الكروماتين ربما بواسطة بروتينات لاهستونية خاصة. يلي ذلك عملية النسخ أي تخليق الحامض mRNA. ترجمة جزيئات الحامض mRNA (التي تحدث في السيتوبلازم) تنتج بروتينات تؤدي وظيفة (أو وظائف) هذه الخلية المستهدفة والتي ينشطها الهرمون.

من البروتين المسمى أوفالبيومين ovalbumin (المكون الأساسي في بياض البيض). أولاً تظهر في الخلية جزيئات الحامض mRNA الذي يحمل شفرة الأوفالبيومين. وعلى مدى ساعات قليلة يرتفع عدد جزيئات المراسلات الخاصة بالأوفالبيومين من الصفر تقريباً إلى ١٠ آلاف لكل خلية. في هذه الحالة فقد قام معقد المستقبل والهرمون بتشغيل جين الأوفالبيومين مما يؤدي إلى نسخه إلى الحامض mRNA.

كيف يحث البروجيسترون نشاط جينات معينة (مثل الأوفالبيومين) دون غيرها؟ بعبارة أخرى بأي آلية يفجر النشاط الجيني التفاضلي؟ إجابة مبثثة فقط هي المتاحة حتى الآن. يتحد معقد البروجيسترون والمستقبل مع مجموعة معينة من البروتينات اللاهستونية nonhistone تكون موجودة في الخلايا المستهدفة (قناة المبيض).

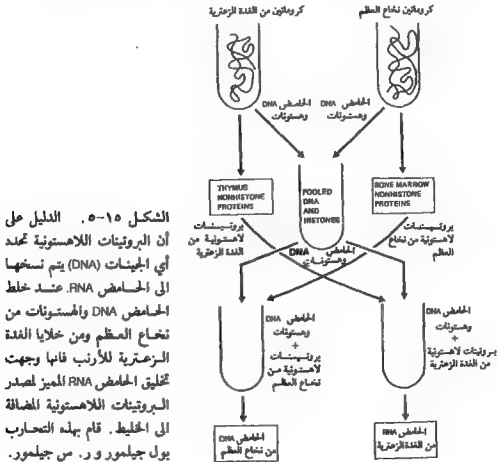
قد تذكر أن الكروماتين يحتوي (بالإضافة إلى الحامض DNA) على خمسة أنواع من الهستونات (الشكل ١٥-٤) والعديد من أنواع البروتينات اللاهستونية. الهستونات متشابهة جداً من نسيج إلى آخر وحتى من نوع إلى آخر. في الواقع فإن أحد الهستونات الموجودة في خلايا العجل يختلف عن هستون مشابه في خلايا البسلة عند موضعين فقط (أي حامضين أمينيين) من مجموع ١٠٢ حامض أميني في الجزيء. يحتوي الكروماتين

كذلك على مجموعة اللاهستونات وهي غير متجانسة الى حد بعيد (الشكل ١٥-٤). بالإضافة الى ذلك فان محتوى الخلية من اللاهستونات يختلف من خلية إلى أخرى. ويتحد معقد البروجيستيرون والمستقبل مع واحد أو أكثر من هذه البروتينات اللاهستونية - التي تنفرد بها الخلايا المستهدفة في قناة المبيض. وعندما يحدث ذلك تصبح هناك مواضع متاحة لإرتباط بوليميريز الحامض RNA ويبدأ نسخ الأوفالبيومين وجينات مناسبة أخرى.

كما ترى في الشكل ١٥-٤ فان البروتينات اللاهستونية في خلية ما تكون شديدة التباين. بعض الجزئيات في هذه المجموعة غير المتجانسة تبدو فريدة بالنسبة للخلية التي توجد بها. دعنا ندرس الآن تجربة أخرى تكشف عن أهمية البروتينات اللاهستونية في تحديد أي الجينات تكون نشطة في الخلية.

الشكل ١٥-٤. لوحات الحمل الكهربى للبروتينات المستوية واللاهستونية الموزولة من الكروماتين. هناك خمسة أنواع من المستونات (الى اليسار) وهي تختلف قليلا من نوع الى نوع من الخلايا أو حتى من نوع الى نوع من الكائنات. هناك أنواع عديدة من البروتينات اللاهستونية (الى اليمين) تتراوح في الوزن ما بين ١٠٠٠٠ الى ١٥٠٠٠٠ دالتون. تختلف أنواع البروتينات اللاهستونية من نوع خلية الى آخر ومن نوع الى آخر من الكائنات. التباين الكبير في البروتينات اللاهستونية يجعل منها مواد أفضل لأداء وظائف تنظيمية داخل الخلايا. (يتصريح من جلاري من. ستين وجانيت سوابنهارت ستين بجامعة فلوريدا).

مكوناته : الحامض DNA و الهستونات والبروتينات اللاهستونية . عند إعادة خلط هذه المواد في أنبوبة اختبار في وجود بوليميريز الحامض RNA والنيوكليوتيدات اللازمة فان تخليق الحامض mRNA المميز للنسيج الذي أتوا منه يبدأ . ومع ذلك فان البروتينات اللاهستونية هي التي سوف تحدد أي الجينات سيتم نسخه . فعند خلط الحامض DNA والهستونات المستخلصة من نخاع عظام الأرنب مع خلايا الغدة الزعترية (التيوسية) thymus للأرنب فان الخليط يستطيع تخليق الحامض mRNA المميز لأي من النسيجين على حسب مصدر البروتينات اللاهستونية التي تضاف إليه . وعلى ذلك فانه عند إضافة بروتينات لاهستونية من خلايا نخاع العظم الى الخليط فان الحامض mRNA الناتج يكون مثل ذلك الموجود في خلايا نخاع العظم . بينما اذا أضيفت بروتينات لاهستونية من خلايا الغدة الزعترية بدلا من ذلك فان جزيئات الحامض mRNA الناتجة تكون مثلها في خلايا الغدة الزعترية (الشكل ١٥-٥) . هذه النتائج تقدم دليلا إضافيا على



أهمية البروتينات اللاهستونية في تشغيل الجينات المناسبة لنوع معين من الخلايا كاملة التشكل.

### ١٥-٣. الجينات العملاقة والنشاط التفاضلي للجينات

GIANT CHROMOSOMES AND  
DIFFERENTIAL GENE ACTIVITY

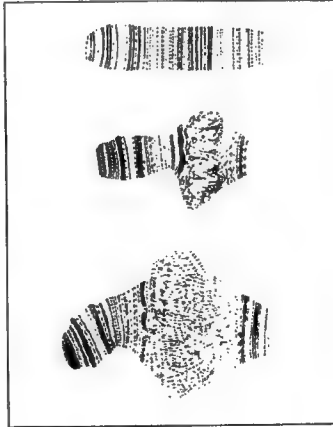
تحتوي بعض الخلايا في يرقات حشرات معينة على كروموسومات عملاقة. في الباب ١١ لاحظنا وجود كروموسومات عملاقة في خلايا الغدد اللعابية لذباب الفاكهة *Drosophila*. الكروموسومات العملاقة هي كروموسومات الطور البيني وهي أكثر استطالة من كروموسومات الطور الانفصالي. السبب في أنها مرئية أثناء الطور البيني عندما لا تكون الكروموسومات العادية غير مرئية هي أنها نواتج التضاعف الكروموسومي المتكرر غير المصحوب بانقسام خلوي. تصطف ثنائيات الكروموسومات الأمية والأبوية بجانب بعضها البعض في تناسق كامل على كل طولها وتكون النتيجة أشبه بالسلك متعدد الخيوط. في الغدد اللعابية لذباب الفاكهة يكون كل كروموسوم عملاق نتيجة لتسع دورات من التضاعف. وعلى ذلك يكون هناك أكثر من ألف خيط في السلك. الكروموسومات العملاقة لبعض الحشرات بها ١٦ ألف خيط.

تتكون الكروموسومات العملاقة من تتابع خطي من أشرطة قائمة متبادلة مع أشرطة بيضاء باهتة (الشكل ١١-٣). يكون معظم الحامض DNA في الأشرطة. ففي العديد من الحالات يمكن نسبة موقع جيني محدد إلى شريط محدد وقد يظهر في الواقع أن كل شريط يحتوي على موقع جيني واحد. هناك أكثر من ٥ آلاف شريط في الكروموسومات العملاقة لذباب الفاكهة وهذه قد تمثل كل ما بالكائن من جينات. وعلى أي حال فإن تتابع الجينات والمسافات النسبية بينهم (أنظر القسم ١١-٦) تقترب كثيرا من المواضع النسبية لتلك الأشرطة التي أمكن التعرف عليها كمواقع جينية محددة.

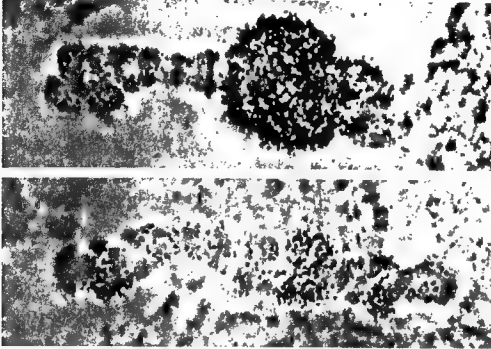
يختلف قطر الكروموسوم العملاق من مكان إلى مكان. ففي بعض المواضع التي تسمى إنتفاخات "puffs" قد يبدو الكروموسوم متورما بوضوح (الشكل ١٥-٦) عند امداد الخلية باليوريدين المشع (U- وهو النيوكليوتيد الذي ينفرد به الحامض RNA) يمكن إثبات أن هذه الإنتفاخات هي أماكن التخليق المركز للحامض RNA (الشكل ١٥-٧). وعلى ذلك إذا كانت الأشرطة تمثل جينات فإنه يبدو أن الأشرطة المتفخخة تمثل

جينات يجري نسخها .

الكروموسومات العملاقة في خلايا أحد الأنسجة (مثل الغدد اللعابية للذبابة الفاكهة) لها نفس المظهر العام لتلك الموجودة في نسيج آخر (مثل أنابيب مليبيجي في ذبابة الفاكهة). ولكن مكان الإنتفاخات يختلف من أحد أنواع الخلايا الى آخر وهذا يعني أن الجينات النشيطة في أحد أنواع الخلايا تختلف عن تلك الموجودة في الأنواع الأخرى. وماذا يمكن أن يكون أكثر ملاءمة من ذلك؟ أكثر من ذلك فحتى في النوع الواحد من الخلايا فان نمط الإنتفاخات يختلف من وقت لآخر. فمثلا كلما بدأت يرقة الحشرة في الإستعداد للإنسلخ فان تتابع محدد من الإنتفاخات يحدث في كروموسوماتها ويمكن التنبؤ به. ويبدأ الإنسلخ في الحشرات بمستويات متصاعدة من هرمون يسمى إكدايسون *ecdysone*. والإكدايسون (مثل البورجسترون والإيستروجينات) هو ستررويد. اذا حقن الإكدايسون في يرقة ذبابة الهاموش *Chironomus* الفضيلة مباشرة بعد أن تكون قد أتمت الإنسلخ (أي في الوقت الذي يكون معدل الإكدايسون الذاتي



الشكل ١٥-٦. جزء  
من كروموسوم عملاق  
ليست به انتفاخات  
(أعلى) وبه انتفاخات  
(وسط و أسفل).  
يتصرف عن يرويس  
وبالفان : كروموسوما -  
العدد ٧ - صفحات  
٣٧١ - ٣٨٦ - سنة  
١٩٥٥ .



الشكل ١٥-٧. أعل : صورة الاشعاع اللاني لانتفاخ حل الكروموسم الرابع في ذبابة الحشرة . بعد معالجتها بالاكدياسيون واليوريدين المشع . الحبوب المتجمعة عند الانتفاخ تبين أنه مكان للتخليق الكثيف للحماض RNA .  
أسفل : عندما يوجد الأكتينومايسين د كذلك يمتنع الانتفاخ ويقل تخليق الحامض mRNA .  
(بتصريح من كلاوس بيلنج-معهد ماكس بلاتك لعلوم الحياه توبنجن) .

فيها منخفض جدا) فان تتابع إنتفاخات ما قبل الإنسلاخ يعود مرة أخرى . يظهر أول إنتفاخ في خلال ٣٠ دقيقة ويتبعه الآخرون بلا هواة خلال الساعات القليلة التالية (الشكل ١٥-٨) . يبدو أن وجود الإكدياسون قد عمل على تشغيل سلسلة من الجينات . وفي الواقع تم إستخلاص حامض mRNA من هذه الخلايا المعاملة بالإكدياسون كان يعمل كقالب لتخليق إنزيم غير موجود في خلايا اليرقات التي لم تعامل بهذا الهرمون .

يتوقف انتاج الإنتفاخات بعد الحقن بالإكدياسون عند إعطاء الأكتينومايسين د في نفس الوقت وهذا يشكل دليلا إضافيا على أن الهرمون يؤدي عمله عن طريق إفساح المجال أمام المعلومات الوراثية في الخلية .

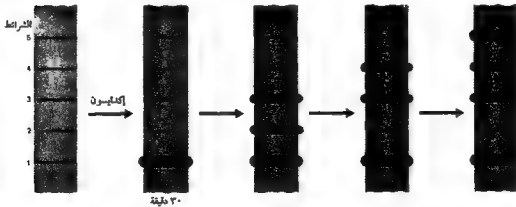
الدليل يكون مباشرا لو أمكن الربط بين وجود إنتفاخ معين ووجود

منتج جيني معين . من بين أنواع جنس الهماموش *Chironomus* يوجد نوعان تختلف خلايا الغدد اللعابية فيها بصورة قاطعة . ينتج أحدهما (*C. pallidivittatus*) حبيبات خاصة في بعض خلايا غده اللعابية بينما لا ينتج الآخر (*C. tentans*) هذه الحبيبات . بالإضافة الى ذلك فان النوع الأول به إنتفاخ زائد في كروموسومات هذه الخلايا عما في النوع الثاني (الشكل ١٥-٩) . وقد أوضح التهجين بين النوعين أن هاتين الصفتين يتم توارثهما كصفات وحيدة الجينات وتبين من الخرائط الكروموسومية (أنظر القسم ١١-٦) أن الجين يوجد على الكروموسوم عند نقطة الإنتفاخ الذي ورثه أحد النوعين عن النوع الآخر . الجينات تحمل الشفرة الخاصة بالبروتينات وتوقع أن يحتوي النوع *C. pallidivittatus* في خلايا غده اللعابية على بروتين لا يوجد في النوع *C. tentans* . فصل البروتينات التي تنتجها هذه الخلايا كشف عن ٦ بروتينات مشتركة بين النوعين وواحد موجود فقط في النوع *C. pallidivittatus* (الشكل ١٥-٩) . هنا إذن دليل قوي على أن الموقع الجيني ينتج إنتفاخا واحدا يخلق الحامض RNA ينحدر منه بروتين فريد وصفة (الحبيبات) مرئية فريدة في الخلية .

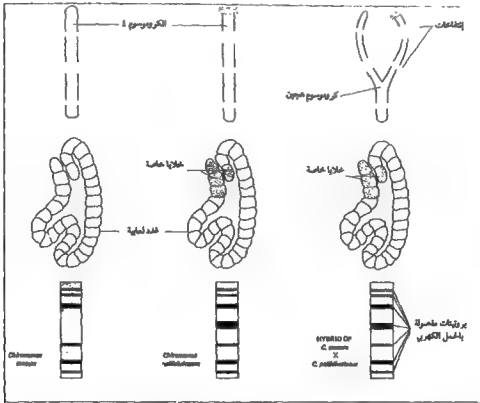
## TRANSLATION CONTROLS

## ١٥-٤ . ضوابط الترجمة

آليات النشاط الجيني التفاضلي التي درسناها حتى الان تعني كلها بتنظيم معدل نسخ الجينات . في بدايات النواه قد تكون هذه هي كل القصة وفي حقيقيات النواه قد



الشكل ١٥-٨ . حث الاكليبسون لتكوين نمط معين ومتابع من الانتفاخات ريبا كان المنتج (أو المنتجات) الجينية عند انتفاخات معينة (عند الشريط ١ مثلا) يعمل على تشغيل شرائط أخرى (وابقاء بعض الشرائط مثل رقم ٢ في المرحلتين الاخيرتين) .



الشكل ٩-١٥. التلازم بين وجود انتفاخ معين (ملون) وتكوين الحبيبات في الخلايا الخاصة وتخليق بروتين معين في جنس *Chironomus*. النوع *C. pallidivittatus* ينتج انتفاخ وحبيبات وبروتين لا ينتجها النوع *C. tentans* المهيمن بين النوعين ينتج انتفاخ صغير وكميات متوسطة من الحبيبات والبروتين. الانتفاخ الخاص في النوع الأول (وفي المهيمن) يوجد فقط في الخلايا الخاصة الأربعة.

يكون ذلك هو الجزء الأهم من القصة. ولكن حقيقتات النواه (على خلاف بدائيات النواه) تستطيع إنتاج مراسلات مستقرة أي مراسلات تستطيع البقاء في الخلية لفترات طويلة. لذلك تكون هناك فرصة لتنظيم معدل التعبير عن الجينات عن طريق تنظيم معدل ترجمة المراسل. ويوجد في الواقع بعض الدلائل على أن التغير الجيني في حقيقتات النواه يشمل على الترجمة التفاضلية للمراسل بالإضافة الى النسخ التفاضلي للجينات.

التحضير من مراسلات خلايا الدم الحمراء للأرنب يحتوي على كميات متساوية تقريبا من المراسل الخاص بتخليق السلسلة ألفا وذلك الخاص بتخليق السلسلة بيتا (وتتذكر أن كل مراسل يتم نسخه من جين مختلف). وعند وضعه في أنبوبة إختبار وحفظه



الحضانة مع كل المواد المناسبة فإن هذا الخليط من المراسلات ينتج كميات متساوية , نوعي سلاسل الجلووين . اذا تم حقن نفس التحضير في الخلية البيضية الضفدعة نصفدعة فإن هذه المراسلات الخاصة بالأرنب تترجم الى سلاسل ألفا وبيتا الخاصة<sup>٩</sup> رنب بواسطة آليات تخليق البروتين في خلايا الضفدعة . ولكن نوعي السلاسل لا يجان بكميات متساوية بل تكون النسبة بين تخليق سلاسل بيتا الى تخليق سلاسل ألفا حوالي ١ : ٥ . ويبدو أنه في الخلايا البيضية للضفدعة تكون كفاءة ترجمة الحامض mRNA للسلاسل بيتا أكبر منها بالنسبة للسلاسل ألفا . ومع ذلك إذا تم حقن الميم - لازم لاكمال تخليق الهيموجلوبين - مع المراسلات فإن الانتاج المتوازن للسلاسل ألفا بيتا يعود مرة أخرى . وعلى ذلك يبدو أن الميم يؤثر على معدل التعبير عن الجينات عن طريق تأثيره على معدل الترجمة .

موقف مشابه موجود في الطحلب الأخضر كلوريللا *Chlorella* , تخليق واحد من نزيبات تفاعلات الظلام في البناء الضوئي يتم تنظيمه مستقلا عن معدل تخليق المراسل لهذا الإنزيم . تحت ظروف خاصة تحتوي الخلايا على كميات كبيرة من المراسل وتحديث ترجمة قليلة أو لا تحدث بالمرءة . عند إضافة الجلوكون الى الخلايا التي تحدث بها ترجمة فإن تخليق الإنزيم (الذي أصبح الان زائدا عن الحاجة) يتوقف في الحال . هذا التوقف لتخليق الإنزيم يحدث أسرع كثيرا مما لو كان الجلوكون يوقف النسخ . التفسير الأكثر احتمالا هو ان الجلوكون عطل تخليق الإنزيم عند مستوي ترجمة المراسل بطريقة لم يتم التوصل اليها بعد .

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

درسنا في هذا الباب الآليات التي يحدث بها تغير في التعبير عن الجينات كاستجابة لاشارات تصل الى الخلية من البيئة . في حقيقيات النواه عديدة الخلايا قد تكون هذه الإشارة هي وصول هرمون الى الخلية . ولكن الهرمون ينتقل مع الدم أو العصارة ويمكن أن يصل الى كل خلية في جسم الكائن . ولكن لا تستجيب لذلك كل خلية . الخلايا المستهدفة فقط هي القادرة على الإستجابة للإشارة . خلايا طلائية الرحم في الثدييات على سبيل المثال تستجيب بسرعة لوصول الإستروجينات ولكنها لا تتأثر بوصول هرمون الكلية إريثروپويتين erythropoietin . من ناحية أخرى تستجيب خلايا

نخاع العظم بقوة للإريثروبويتين (وذلك بانتاج المزيد من خلايا الدم الحمراء) ولكنها لا تتأثر بوجود الإستروجينات في السائل المحيط بها .

كيف يمكن إذن التعبير عن بعض الجينات (مثل جين تخليق الأوفالبيومين) في بعض الخلايا وليس في البعض الآخر؟ قد تقول أن خلايا قناة المبيض أو طلائية الرحم تحتوي على البروتين المستقبل اللازم لذلك بينما لا تحتوي خلايا نخاع العظم عليه . وهذا صحيح . ولكن ما الذي يحدد إن كان نوع معين من الخلايا يحتوي على هذا المستقبل السيتوسلازمي اللازم لجعل الخلية تستجيب للإستروجينات أي لجعلها هدفا للإستروجينات؟ من المؤكد أنه تاريخ هذه الخلية - التاريخ الذي أدى الى تكوين طلائية الرحم في مقابل خلية نخاع العظم . إنه إذن مسار التشكل pathway of differentiation الذي سلكته تلك الخلية هو الذي يحدد في النهاية أي الجينات تكون الخلية قادرة على التعبير عنه كاستجابة لإشارات التغير . وعلى ذلك فإن بحثنا عن آليات للنشاط الجيني الإنتخابي لم ينته بأي حال من الأحوال . مازال علينا أن نبحث عن آليات تنظيم الجينات التي تقود الى تشكل الخلية بصورة معينة . سوف نحاول الحصول على إجابات مبدئية عن هذا السؤال الجوهرى في الباب ١٨ .

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - هل تتوقع أن تكون الطفرات في الجينات المنظمة سائدة أم متنحية؟ اشرح
- ٢ - هل تتوقع أن تكون الطفرات في جينات التشغيل سائدة أم متنحية؟ اشرح

المراجع

REFERENCES

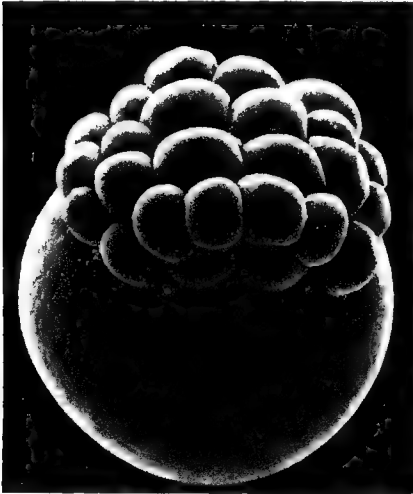
- 1- PTASHNE, M., and W. GILBERT, "Genetic Repressors", Scientific American, Offprint No. 1179, June, 1970.
- 2- SOBELL, H.M., "How Actinomycin Binds to DNA", Scientific American, Offprint No. 1303, August, 1974.
- 3- O'MALLEY, B.W., and W.T. SCHRADER, "The Receptors of Steroid Hormones", Scientific American, Offprint No. 1334, February, 1976.
- 4- STEIN, G.S., JANET S. STEIN, and L.J. KLEINSMITH, "Chromosomal proteins and Gene Regulation", Scientific American, Offprint No. 1315, February, 1975. Examines the role of histones in keeping genes turned off and of nonhistone proteins in turning them on.
- 5- MARKERT, C.L., and H. URSPRUNG, Developmental Genetics, Foundations of Developmental Biology Series, Prentice - Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1971. Chapter 6 includes the *chironomus tentans-pallidivittatus* story.
- 6- BEERMANN, W., and U. CLEVER, "Chromosome puffs", Scientific American. Offprint No. 180, April, 1964. Includes a discussion of ecdysone-induced puffs.



## PART 5

## القسم الخامس

### التكاثر والنشأة REPRODUCTION AND DEVELOPMENT



صورة بالمجهر الاليكتروني المساح لجنين أسماك الزرد. (من هـ. و. يمزور. ج. كسل)



## CHAPTER 16

## الباب السادس عشر

### التكاثر في النباتات

## REPRODUCTION IN PLANTS

ALTERNATION OF GENERATIONS	١-١٦ : تبادل الأجيال
THE PROBLEMS TO BE SOLVED	٢-١٦ : المشاكل المطلوب حلها
MOSESSES	٣-١٦ : الحزازيات
FERNS	٤-١٦ : السرخسيات
GYMNOSPERMS	٥-١٦ : عاريات البذور
ANGIOSPERMS	كاسيات البذور
THE FLOWER AND ITS POLLINATION	٦-١٦ : الزهرة وتلقيحها
THE SEED	٧-١٦ : البذرة
SEED DISPERSAL : THE FRUIT	٨-١٦ : إنتثار البذور : الثمرة
GERMINATION	٩-١٦ : الانبات
ASEXUAL REPRODUCTION	١٠-١٦ : التكاثر اللاجنسي
IN PLANTS	في النباتات
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل
REFERENCES	المراجع





## الباب السادس عشر

### التكاثر في النباتات

من أهم مظاهر الكائنات الحية قدرتها على إكثار نوعها . ويأتي وقت لكل كائن تكون فيه قوي الأيض والنمو والاستجابة غير كافية للمحافظة على أنظمته المعقدة ضد قوى أخرى . هجوم الكائنات المفترسة أو الطفيليات أو المجاعة أو التغيرات الضارة الأخرى في البيئة أو مجرد تلك العمليات غير واضحة المعالم التي نسميها الشيخوخة تؤدي في النهاية إلى موت الكائن . ومع ذلك يستمر النوع species لفترات أطول بكثير من عمر الفرد الواحد من أفراده . ويتم بإنجاب أفراد جدد من الأفراد القدامى قبل وفاتهم أغلب الأسئلة الرئيسية في علم الأحياء تتعلق بهذه القابلية لدى الكائنات الحية على إنتاج نسخ من أنفسهم .

هناك طريقتان مميزتان لإنتاج ذرية في الكائنات الحية . واحدة منها تسمى التكاثر الجنسي Sexual reproduction وهو إنتاج أفراد جدد تجمع بين المعلومات الوراثية التي يسهم بها نوعان مختلفان من الخلايا يمثلان بصفة عامة نوعين مختلفين من الآباء . وفي معظم الكائنات تكون هذه الخلايا هي الأمشاج (أو الجاميطات) gametes ، والطريقة الأخرى للتكاثر تتم بواسطة أب واحد فقط . وفي هذه الطريقة المسماة بالتكاثر اللاجنسي asexual reproduction تنتج الذرية بدون اتحاد مشيجين . العديد من النباتات يتكاثر بواسطة الطريقتين معاً ولكل طريقة مزاياها كما سوف نرى .

#### ١٦-١ . تبادل الأجيال ALTERNATION OF GENERATIONS

يشتمل التكاثر الجنسي على عمليتي الإخصاب والانقسام الاختزالي . في الإخصاب تندمج نواتا المشيجين فيرتفع عدد الكروموسومات من العدد الأحادي إلى العدد

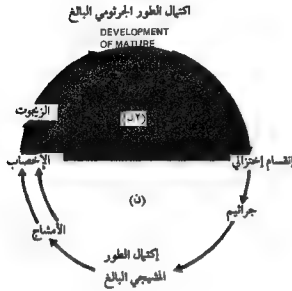
الثنائي . في الانقسام الاختزالي يتم اختزال عدد الكروموسومات مرة أخرى من العدد الثنائي الى العدد الأحادي ومهما كان التباين في التفاصيل من كائن إلى آخر فإن هاتين العمليتين لا بد أن تحدثا بالتبادل إذا كان للتكاثر الجنسي أن يستمر.

في النباتات يعمل الانقسام الاختزالي والاختصاص على تقسيم حياة الكائن إلى مرحلتين متميزتين أو جيلين (الشكل ١٦-١). الطور المشيجي gametophyte يبدأ بجراثومة ناتجة من الانقسام الاختزالي. الجراثومة أحادية العدد الكروموسومي وكل الخلايا الناشئة منها تكون أيضا كذلك. من بين الخلايا التي ينتجها هذا الطور الأمشاج gametes. عند إندماج مشيجين يبدأ الطور الجرثومي sporophyte. وعلى ذلك فإن الطور الجرثومي يبدأ بزيجوت zygote وهو يحتوي على العدد الثنائي من الكروموسومات وكل الخلايا الناشئة منه بالانقسام غير المباشر تكون ثنائية العدد الكروموسومي كذلك. ومع ذلك فإنه في النهاية تنقسم خلايا معينة اختزاليا لتكون الجراثيم spores التي تبدأ طور مشيجي مرة أخرى.

#### ١٦-٢: المشاكل المطلوب حلها THE PROBLEMS TO BE SOLVED

ربما تكون النباتات قد تطورت عن أسلاف مائية هي الطحالب الخضراء. وعلى الرغم من أن بعض النباتات توجد حالياً في الماء فإنها مرتبطة في المقام الأول بالحياة على الأرض. توجد في أفراد كل مجموعة من النباتات عدة محورات شكلية ووظيفية تؤهلهم للحياة بعيداً عن البيئة المائية. كيف تتمكن النباتات من حل مشكلة تأمين الماء والمحافظة على خلاياهم في حالة مبللة سيكون موضوع النقاش في الجزء السابع. في هذا الباب سوف ندرس كيف تمكنت النباتات من حل مشكلة التكاثر الجنسي على الأرض.

المشكلة في الواقع مزدوجة، الأمشاج خلايا مفردة ورفيعة للغاية، وفي التلقيح الخلطي لا بد من وجود آلية تمكن المشيجين من الوصول إلى بعضهما البعض بأمان، وتزداد المشكلة في النباتات نتيجة عدم قدرتها على الحركة، وعدم قدرة النباتات على الحركة يخلق مشكلة أخرى وهي كيف تنتشر اللرية الناتجة من التكاثر الجنسي إلى أماكن تبعد بالقدر الكافي عن الأبوين حتى تتلقى ما تحتاج إليه من ضوء الشمس والماء ومعادن التربة. هاتان المشكلتان المتلازمتان (توصيل الأمشاج إلى بعضها إلى البعض



الشكل ١٦-١. دورة حياة نموذجية نباتية. الانقسام الاختزالي والإخصاب يقسمان دورة حياة النبات الى طور مشيجي أحادي العدد الكروموسومي وطور جرثومي ثنائي العدد الكروموسومي على التوالي. الطور المشيجي سائد في الحزازيات والطور الجرثومي سائد في السرخسيات وعاريات البذور وكاسيات البذور. لاحظ أنه في جميع النباتات يكون إنتاج الجرثيم بواسطة الانقسام الاختزالي. الأمشاج ينتجها الانقسام غير المباشر.

في أمان وانتشار النوع في أماكن جديدة) تم حلها بطرق مختلفة في المجموعات النباتية المختلفة.

## MOSSES

## ١٦-٣. الحزازيات

يتكون تجمع الحزازيات من كتل من السوق المورقة أحادية العدد الكروموسومي ، ولذا فانها تنتمي الى الطور المشيجي (الشكل ١٦-٢). في الحزاز الشائع (*Polytrichum commune*) تكون السوق المورقة من ثلاثة أنواع مؤنثة ومذكورة وعقيمة (الأخيرة لا تشارك في التكاثر الجنسي ولا تعيننا الآن). يسهل تمييز السوق المذكورة عن النوعين الآخرين عن طريق قمتها المفلطة. القطاع الطولي في قمة نبات مذكر يكشف عن عدة أعضاء تكاثر مذكورة هي الأنثريدات antheridia تكون كل منها ممتلئة بالأمشاج المذكورة. قطاع طولي مماثل في النبات المؤنث يكشف عن وجود عدة أرشيوجونات archegonia كل منها لها شكل زجاجة وهي أعضاء التأنيث. تحتوي كل أرشيوجونة على خلية بيضة واحدة في غرفة بالقرب من قاعدتها. في أوائل الربيع وعندما يتوفر الماء تتحرر الأمشاج المذكورة من الأنثريدات ويعزل تساقط قطرات المطر

على توزيع الأمشاج المذكرة الى النباتات القريبة . تسبح الأمشاج المذكرة على النباتات المؤنثة نحو الأرشيجونة . ربما كانت تتبع فرق في تركيز السكرز المنتشر من الأرشيجونة . يسبح المشيج المذكر الى أسفل في قناة الأرشيجونة نحو البيضة ويحدث الانخصاب . الزيجوت الناتج هو أول خلية في الطور الجرثومي .

تنتج الانقسامات غير المباشرة للزيجوت الطور الجرثومي الناضج (الشكل ١٦-٢) . وهو يتكون من التراكيب ثنائية العدد الكروموسومي الآتية :

١ - قدم foot وهو يمتص الماء والأملاح المعدنية من الطور المشيجي الأبوي على الرغم من أن خلايا الطور الجرثومي تحتوي على الكلوروفيل فان بعض المواد الغذائية قد تمتص أيضا من الطور المشيجي الأبوي .

٢ - عنق stalk وينمو بمقدار بوصات قليلة في الهواء .

٣ - حافظة جرثومية sporangium تتكون عند طرف العنق وتوجد بداخلها خلايا أم الجراثيم spore mother cells . الفتحة تكون مغلقة بغطاء operculum وتكون الحافظة الجرثومية مغطاة بالكامل بقلنسوة calyptra وتنشأ القلنسوة من الجدار القديم للأرشيجونة (وعلى ذلك فهي في الواقع جزء من الطور المشيجي) . القلنسوة هي السبب في الاسم الشائع لهذا النوع .

في أثناء الصيف تنقسم كل واحدة من خلايا أم الجراثيم اختزالياً فتنتج أربع جراثيم أحادية العدد الكروموسومي وهي بداية الطور المشيجي . وفي أواخر الصيف يتم انتزاع القلنسوة والغطاء من الحافظة الجرثومية ويعمل انخفاض الرطوبة على انحناء حلقة الأسنان الموجودة في فتحة الحافظة الجرثومية نحو الخارج وعندئذ تنشر الجراثيم وتمكنها أحجامها الضخمة من الانتقال لمسافات بعيدة بواسطة الرياح .

إذا ما استقرت جرثومة في مكان ملائم (رطب وظليل) فإنها تثبت لتكون خيط من خلايا خضراء يسمى الخيط الأولي protonema التشابه بين الخيط الأولي والطحالب جعل بعض علماء النبات يعتقدون أن الحزازيات قد نشأت من الطحالب . وبسرعة تظهر براعم على الخيط الأولي ومن هذه البراعم تنشأ السوق المورقة - المذكرة والمؤنثة والعقيمة - التي بدأت بها هذه القصة .

ماهي الأدوار التي يلعبها هذان الطوران في دورة حياة النبات الحزازي . الطور



بعض غذائه فإنه يعتمد بالكامل على الطور المشيجي في الحصول على الماء والأملاح المعدنية.

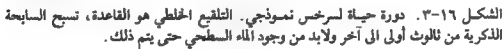
## FERNs

## ١٦-٤ : السراخس

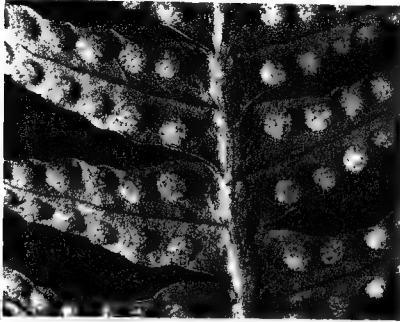
في السراخس فإننا عادة نرى الطور الجرثومي . سرخس عيد الميلاد من أفضل الأمثلة (الشكل ١٦-٣) . فالأوراق leaves (أو الأوراق السرخسية fronds كما جرت العادة على تسميتها) هي الجزء الوحيد من النبات الذي يظهر فوق سطح الأرض . هذه تنشأ من ساق تحت أرضية - الريزومة rhizome - تمتد منها أيضاً الجذور roots . كل هذه الأعضاء تكون الطور الجرثومي البالغ . في أوائل الصيف تظهر بقع بنية على السطح السفلي لوريقات الأوراق السرخسية (الشكل ١٦-٤) . كل بقعة تسمى البثرة sorus وتتكون من عدة حواظ جرثومية ذات أعناق (الشكل ١٦-٣) . بداخل كل حافظة جرثومية تنقسم خلايا أم الجراثيم اختزالياً فتنتج كل منها أربع جراثيم . عندما تنخفض الرطوبة تنفصل خلايا الشفاء رقيقة الجدر في كل حافظة جرثومية وتستقيم الحلقة annulus ببطء ثم تنطلق للأمام في حركة مباحثة فتنتج الجراثيم .

يمكنك توضيح هذه العملية بنفسك . انقع بعض وريقات سرخسية عليها بثرات ناضجة في كحول لمدة يوم أو يومين ثم انقل بعض هذه البثرات على شريحة نظيفة بواسطة سكين حيث يمكنك مشاهدة تفاصيل الحواظ الجرثومية بوضوح مع التكبير . ويمرور الحرارة الناجمة عن الاضائة بالمجهر خلال العينة المبللة فإن الكحول يتبخر ويعد ذلك يبدأ انبثاق الجراثيم .

إذا وصلت الجراثيم السرخسية المنقولة بالرياح الى بيئة ملائمة (رطبة وظليلة) فإنها سوف تثبت لتعطى خيوطاً من الخلايا ينمو كل منها الى تركيب صغير (حوالي ١ سم) مفلطح أخضر قلبي الشكل يسمى الثالوس الأولي prothallus (الشكل ١٦-٣) . ينمو الثالوس الأولي على سطح التربة ويكون مثبتاً فيها بواسطة خيوط خلوية رفيعة تسمى أشباه الجذور rhizoids وهي تقوم بامتصاص الماء والأملاح المعدنية من التربة . خلايا الثالوس الأولي كما تكون أحادية العدد الكروموسومي وهي عبارة عن الطور المشيجي البالغ . يوجد على سطحة السفلي الأعضاء الجنسية : الأنثريدات لانتاج الأمشاج المذكورة والأرشيغونات لانتاج اليضات . عندما تكون الرطوبة متوفرة بغزارة تتحرر



الأمشاج المذكورة وتسمح نحو إحدى الأرشيجونات - عادة على ثالوس أولى آخر - لأن نوعي الأعضاء الجنسية لا يصلان بصفة عامة إلى مرحلة النضج في نفس الوقت على نفس الثالوس الأولى وذلك يؤدي إلى التلقيح الخلطي وبالتالي إلى فرصة أكبر للتلقيح في الذرية. يحدث الإخصاب داخل الأرشيجونة ويبدأ الطور الجرثومي الجديد. ينشأ الطور الجرثومي الجنسي عن طريق الانقسامات المتكررة للزيجوت. أحد التراكيب التي



الشكل ١٦-٤ . تجمعات الحواظف الجرثومية على السطح السفلي لورقة أحد السرخسيات .

توجد في الجنين ولكنه لا يوجد في الطور الجرثومي البالغ هو القدم foot. هذا العضو يخترق أنسجة الثالوس الأولي ويستمد الرطوبة والغذاء منه حتى تتمكن الجذور والريزومة والأوراق من الاكتفاء الذاتي . لاحظ أنه على الرغم من ضالة الثالوس الأولي بالمقارنة مع الطور الجرثومي البالغ إلا أنه ما يزال نبات مستقل وذاتي التغذية بل أنه يعول الطور الجرثومي الجنيني أثناء المراحل المبكرة لنشأته .

#### GYMNOSPERMS

#### ١٦-٥ : عاريات البذور

عاريات البذور المألوفة للكثير منا هي المخروطيات conifers (أنواع الصنوبر والتنوب . . . الخ) . الطور الجرثومي (وهو الجزء الوحيد الذي يراه المشاهد العادي) ينتج ليس فقط نوع واحد وإنما نوعين مختلفين من الجراثيم . فهناك الجراثيم الصغيرة microspores التي تنبت لتعطي الطور المشيجي الذكر وهناك الجراثيم الأكبر منها وهي الجراثيم الكبيرة megaspores وهي التي تتطور فتصبح الطور المشيجي المؤنث . يتم إنتاج كل من هذين النوعين في حافظة جرثومية خاصة به تسمى الحافظة الجرثومية الصغيرة microsporangium والحافظة الجرثومية الكبيرة megasporangium على التوالي . في أكثر عاريات البذور انتشارا (أي المخروطيات) يوجد كلا النوعين من



الحفاظ الجرثومية في المخاريط cones ، للمخاريط المؤنثة (الشكل ١٦-٥) مألوفة لكل الناس تقريباً. تظهر المخاريط المذكورة في الربيع ويكون عمرها أقصر بكثير. في داخل هذه المخاريط تنتج الجراثيم الصغيرة بواسطة الانقسام الاختزالي وتبدأ الطور المشيجي المذكور. وقبل نحررها يحدث انقسام غير مباشر في نواة كل جرثومة صغيرة لتنتج حبة لقاح رباعية الخلايا وعندئذ تتحرر حبة اللقاح وتنطلق في الهواء.

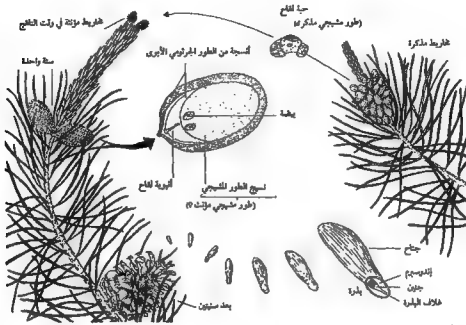
في المخاريط المؤنثة تمر الجرثومة الكبيرة بفترة تطور داخل المخروط ويكون الناتج من هذا التطور هو الطور المشيجي المؤنث (الشكل ١٦ - ٥) . هذا التركيب الصغير لا يتحرر من المخروط بل يظل داخل أنسجة الطور الجرثومي الأبوي . قد يبدو ذلك تغيراً بسيطاً ولكنه على جانب كبير من الأهمية بالنسبة لنجاح عاريات البذور. فمن طريق الاحتفاظ بالطور المشيجي المؤنث في أنسجة الطور الجرثومي الأبوي لا تكون الرطوبة الخارجية لازمة للإخصاب. تحمل الرياح حبوب اللقاح الى المخاريط المؤنثة وهناك تنبت. في عاريات البذور الاولى ربما كانت تنطلق أمشاج مذكورة متحركة motile ويمكنها السباحة نحو البيضة في الأرشيجونة دافعة نفسها في سائل من أنسجة الطور الجرثومي الأبوي. هذا السائل لا بد أنه مستمد في النهاية من مجموع جذري عمدة في التربة. وبذلك تكون الحاجة الى الماء السطحي قد ألغيت. شجرة المعبد gingko الذي يزرع عادة في الحدائق العامة بالمدن هو أحد عاريات البذور التي مازالت تلجأ الى هذه الطريقة في الإخصاب. في عاريات البذور الحديثة لا ينتج الطور المشيجي الذكر أمشاج مذكورة سابحة وبدلاً من ذلك تنبت حبة اللقاح لتكون أنبوبة رقيقة هي أنبوبة اللقاح pollen tube وهذه تنمو داخل أنسجة المخروط المؤنث حتى تصل بالقرب من البيضة (في الصنوبريات قد يستغرق ذلك عاماً كاملاً). عندئذ تفجر الأنبوبة وتندمج نواة ذكورية spermnucleus مع البيضة لتكوين الزيجوت. يظل الموقف الأسامي بلا تغير اذ ان عملية الإخصاب الدقيقة تتم في أعماق أنسجة الطور الجرثومي الأبوي حيث تكون محمية من القسوة المحتملة للجو الخارجي.

مع إنتاج نوعين من الجراثيم ونوعين من الطور المشيجي فلان جراثيم عاريات البذور لا تستطيع القيام بوظيفة الانتشار كما كانت تفعل في الحزازيات والسرخسيات. ففي الحزازيات والسرخسيات تستطيع الجرثومة المفردة أن تنبت في التربة لتكوين طور مشيجي عليه كلا النوعين من الأعضاء الجنسية ويمكن أن يتبع ذلك تكاثر جنسي

وسرعان ما يستقر الكائن في البيئة الجديدة. وبذلك يحدث انتشار النوع. وعلى العكس من ذلك فإن جراثيم عاريات البذور لا يمكن أن تكون وسائل انتشار. فالمكان الوحيد الذي يمكن أن تنبت فيه الجرثومة الصغيرة التي حملتها الرياح هو المخروط المؤنث لنفس النبات أو يفضل (لماذا ؟) أن يكون لنبات آخر من نفس النوع فالجرثومة الصغيرة تنتقل فقط من نبات إلى نبات وهذا لا يحقق إنتشار النوع إلى موقع جديد.

وظيفة الانتشار تقوم بها البذرة seed فبعد الاخصاب ينمو الزيجوت بواسطة عدد انقسامات مباشرة ليعطي طوراً جرثومياً جنينياً ضئيلاً (الشكل ١٦-٥) وينمو حول هذا الجنين نسيج مساعد مخزن للغذاء يسمى الاندوسبرم endosperm وهو مستمد من خلايا الطور المشيجي المؤنث ولذا فإنه أحادي العدد الكروموسومي. ومع ذلك فإذا غذاءه قد جاء من الطور الجرثومي الأبوي. ينشأ حول الجنين والانوسبرم غلاف واقٍ من نسيج الطور الجرثومي الأبوي وعادة يكون لهذا الغلاف جناح رقيق على أحد جوانب البذرة. كل هذه النشاطات تتطلب عاماً آخر لاكتسابها في الصنوبريات. وفي نهاية هذه لفترة يتضح المخروط المؤنث وتخرج منه البذور واحدة تلو الأخرى. يعمل جناح غلاف البذرة كأداة دفع ويزيد من المسافة التي تقطعها البذرة في انتقالها بواسطة الرياح كما يعمل غلاف البذرة نفسه على حماية الجنين من الجفاف. إذا وصلت البذرة إلى مكان ملائم (متوسط الرطوبة) فإنها سوف تمتص الماء ويبدأ الجنين في عمليات الأيض السريع ويأخذ في النمو. هذا الاستئناف للنمو يسمى الإنبات *germination* في البداية يكون النمو على حساب الغذاء المخزن في الأنوسبرم. وعندما تصعد البادرة *seedling* إلى الضوء يظهر الكلوروفيل ويبدأ النبات في تصنيع غذاءه بنفسه بواسطة البناء الضوئي. يتم استهلاك الاندوسبرم تماماً ويتساقط غلاف البذرة فتكون كل خلية من النبات النامي منحدرية من الزيجوت.

وبالمقارنة مع الأطوار المشيجية السابقة فإن الطور المشيجي لعاريات البذور لا يزد عن كونه أداة للتكاثر إلا قليلاً. فكلًا من الطور المشيجي المذكر والطور المشيجي المؤنث ضئيل ويعتمد في تغذيته بالكامل على الطور الجرثومي الأبوي. الأمشاج لا تتلاقى إلا باستخدام تراكيب من الطور الجرثومي الأبوي. الجنين النامي لم يعد محمياً بالطور المشيجي كما في الحزازيات والسرخسيات ولكنه يتلقى الحماية والغذاء من الطو



الشكل ١٦-٥. دورة الحياة لأحد الصنوبريات. يحدث الإخصاب البيضة في داخل أنسجة الطور الجرثومي الأيوى.

الجرثومي الأيوى. (الأندوسبرم ينتمي الى الطور المشيجي ولكن الغذاء المخزن فيه يأتي من الطور الجرثومي). يستمر الطور الجرثومي في تحقيق الانتشار للنوع النباتي اذ أن هذا الانتشار لم يعد يتحقق بواسطة جراثيم تحملها الرياح ولكن بواسطة بذور تنقلها الرياح.

#### ANGIOSPERMS

#### كاسيات البذور

دورة حياة النباتات كاسيات البذور - أو النباتات الزهرية - تشبه دورة حياة عاريات البذور. وعلى الرغم من وجود اختلافات في التفاصيل في الأنواع العديدة من كاسيات البذور فإن السمات الأساسية لدورة حياة كاسيات البذور تكون مشتركة بينهم.

#### THE FLOWER AND ITS POLLINATION

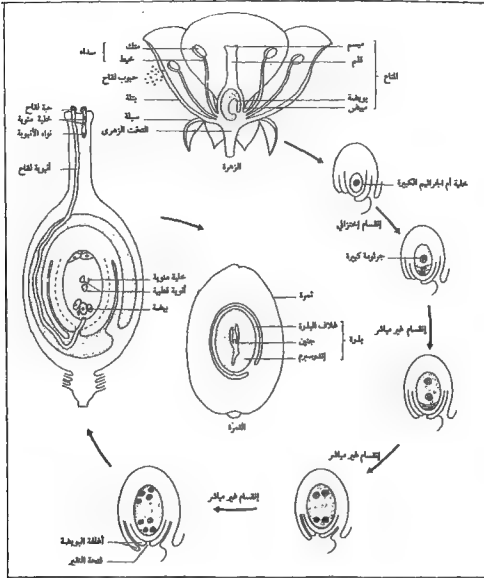
#### ١٦-٦ : الزهرة وتلقيحها

في كاسيات البذور يتم إنتاج الجراثيم الصغيرة والجراثيم الكبيرة في الأزهار flowers ، في أغلب كاسيات البذور تكون الأزهار كاملة perfect أي أن كل زهرة بها

الحواظ الجرثومية الصغيرة والحواظ الجرثومية الكبيرة وهي لذلك تنتج كلا النوعين من الجراثيم . تنشأ الجراثيم الصغيرة في الأسدية stamens وتنشأ الجراثيم الكبيرة في المتاع pistil (الشكل ١٦-٦) . تتكون السداة من جسم مفصص هو المتاع anther (أو الحافظة الجرثومية الصغيرة) يدعمه خيط filament . الانقسام الاختزالي في كل خلية أم الجراثيم الصغيرة يؤدي الى تكوين أربع جراثيم صغيرة وتتحول كل منها بعد ذلك الى حبة لقاح pollen grain ثنائية الخلايا ولها جدار خارجي صلب . احدو خلقي حبة اللقاح تسمى خلية الأنبوية tube cell والآخرى هي الخلية التناسلية generative cell.

يتكون المتاع من الميسم stigma والقلم style والمبيض ovary ، يحتوي المبيض على الحواظ الجرثومية الكبيرة أو البويضات ovules ، و يختلف عدد وترتيب البويضات داخل المبيض كثيراً من نوع الى نوع . الانقسام الاختزالي لخلية أم الجراثيم الكبيرة ينتج ٤ خلايا أبجادية العدد الكروموسومي : الجرثومة الكبيرة وهي ضخمة وثلاث خلايا صغيرة سرعان ما تتحلل ، تنقسم نواة الجرثومة الكبيرة ثلاثة انقسامات غير مباشر ومتتابعة . تنوزع الأنوية الثمان الناتجة وتحاط بجدر خلوية كما هو مبين في الشكل ١٦-٦ . هذا هو الطور المشيجي المؤنث البالغ . أهم خليتان هما خلية البيضة gg cell و الخلية الكبيرة المركزية والتي تحتوي في معظم كاسيات البذور على نواتير قطبيتين polar nuclei . من هذه الخلية الأخيرة سوف ينتج الاندوسبرم في البذرة .

على الرغم من أن انتقال حبوب اللقاح بواسطة الهواء موجود في مجموعات معينة من كاسيات البذور (مثل النجيليات grasses) فإن كاسيات البذور تتميز بالمجموع الكبيرة من الحيوانات التي تساعد في عملية التلقيح pollination يرتبط مع الأسدي والمتاع عدة تراكيب مساعدة من أوضحها البتلات petals ذات الألوان الزاهية (تسمى في مجموعها بالتويج corolla) وحولها يحيط من السبلات sepals (هو الكأس calyx) . قد يوجد مع البتلات غدد تفرز روائح عطرية . إن هذه التراكيب المساعدة هي التي تدخل البهجة والجمال إلى نفوسنا . في الغابات والحقول والحدائق والبيوت المحمية تكود الأشكال والألوان المتعددة للنواتج مبعث الارتياح للجميع ، فيها عدا بعض الأنواع المزروعة فإن الأشكال والألوان لا توجد فقط من أجل سعادتنا . إنها تعمل على جذب حيوانات معينة تأخذ في طريقها حبوب اللقاح من المتك لتضعها على الميسم عنده



الشكل ١٦-٦. دورة حياة نبات من كاسيات البذور. تنشأ الثمرة من جدار المبيض.

تنتقل من زهرة الى أخرى.

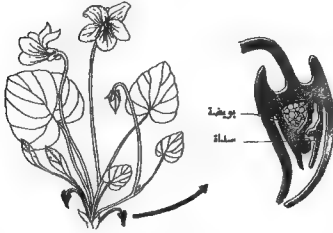
غالباً ما تحتوي الأزهار التي يحدث فيها التلقيح بواسطة الحيوانات على غدد رحيق nectaries تفرز محلولاً سكرياً (أو رحيقاً) وتكافئ الحيوان على زيارته لها. تقوم الطيور (مثل الطائر الطنان) والخفافيش بتلقيح بعض الأزهار ولكن الغالبية العظمى تلحقها الحشرات، فالخنفساء والذبابة والفراشات والنحل ملقحات نشطة. قد تكون

العلاقة بين النبات والحيوان غير وطيدة فبعض كاسيات البذور يقوم بتلقيحها عدة أنواع من الحشرات وبعض الحشرات يقوم كل منها بتلقيح عدة أنواع من النباتات. في حالات أخرى تكون العلاقة أكثر وثوقاً. هناك نوع من الأوركيد الاستوائي لا يلقيه إلا نوع واحد فقط من الفراشات وهو لا يجمع الرحيق الا من نوع واحد فقط من الأزهار فالفراشات لها خرطوم طوله ٢٥ سم والأوركيد به غدة رحيق تقع على عمق ٢٥ سم. بعض أزهار الأوركيد الأخرى يوجد بها متاع له شكل ونمط لوني يحاكي بطون اناث حشرات معينة وعندما تحاول ذكور هذه الحشرات التزاوج مع العديد من هذه الاناث الكاذبة فلإنها تنقل حبوب اللقاح من زهرة الى أخرى.

بصفة عامة فإن الأزهار التي تقوم الحشرات بتلقيحها تكون كاملة حيث تحتوي على الأسدية والمتاع في نفس الزهرة. هناك فائدتان من ذلك. الأولى أن احتمال التلقيح يكون أكبر ففي كل زيارة يتم وضع حبوب اللقاح من آخر زهرة كما يتم التقاط شحنه جديدة من حبوب اللقاح. في الأزهار الناقصة imperfect flowers والتي تحتوي إما على المتك فقط أو المتاع فقط يكون لزاماً على الحشرات الملقحة أن تزور أزهار مذكرة وأزهار مؤنثة بالتبادل حتى تحقق نفس الكفاءة كأداة تلقيح. الثانية أنه إذا ما فشل التلقيح بين أزهار مختلفة (أي التلقيح الخلطي cross-pollination) فإن الزهرة تكون قادرة على تلقيح نفسها ويظل إنتاج البذور ممكناً على الرغم من أن التركيب الوراثي المشابه للأمشاج سوف يقلل من مقدار التباين في النسل.

تكون أزهار بعض كاسيات البذور متحورة بحيث يكون التلقيح الذاتي self-pollination هو القاعدة وليس الاستثناء. كما لاحظنا في الباب العاشر فإن بتلات البسلة تغطي تماماً الأسدية والمتاع بحيث لا تستطيع الحشرات الوصول الى هذه التراكيب. معظم أنواع البنفسج violets تنتج بالإضافة الى الأزهار الكبيرة التي تلقحها الحشرات أزهاراً أصغر لا تفتح أبداً ولا تتعرض المتوك والمبايض فيها للحشرات الملقحة. النظرة الى الشكل ١٦-٧ سوف توضح لماذا لا يحدث في هذه الأزهار الا التلقيح الذاتي فقط.

تحوّرات الأزهار التي تساعد على التلقيح الخلطي أكثر شيوعاً من تلك التي تعمل على منعه. ففي كثير من الأنواع يكتمل نضج الأسدية والمتاع في أوقات مختلفة. وفي بعض الأنواع ترتب الاجزاء الزهرية بحيث تكون الفرصة أمام انتقال حبوب



الشكل ١٦-٧. أزهار  
البتسج. الأزهار ذات  
البساتل تلقح خلطياً.  
الأخرى (مبكرة) تلقح  
ذاتياً.

اللقاح من المتك الى الميسم ضئيلة للغاية. في أزهار القيصين *Saliva* تجتمع هاتان الأليتان معاً بالإضافة الى تركيب مفصلي غير عادي للأسدية التي تنحني لأسفل فتلقى بحبوب اللقاح على النحلة التي تحركها. في العديد من كاسيات البذور (مثل البرسيم الأحمر وبعض أصناف التفاح) لا تنبت حبوب اللقاح على مياسم نفس النبات وهذه النباتات تسمى ذاتية العقم self-sterile.

آلية أخرى لضمان التلقيح الخلطي هي وجود أزهار غير كاملة على نباتات منفصلة. الأنواع التي يحدث فيها ذلك (مثل الصفصاف والخور ونخيل البلح) تسمى ثنائية المسكن dioecious. (الأنواع ذات الأزهار الناقصة على نفس النبات تسمى أحادية المسكن monoecious التلقيح بين هذه الأزهار لا ينتج اختلافات وراثية أكثر مما ينتجة التلقيح الذاتي في نفس الزهرة).

في المكان الواحد تزهر نباتات النوع الواحد في نفس الوقت تقريباً. يحدث ذلك عادة حتى ولو كانت النباتات قد بدأت النمو في أوقات مختلفة. وكما سنري في الباب السادس والعشرين فإن هذا الأزهار المتزامن يكون استجابة للتغير في طول النهار والليل كلما تقدم الموسم وهو كذلك عامل مهم في تشجيع التلقيح الخلطي.

التركيز على كاسيات البذور التي يتم فيها التلقيح بواسطة الحيوانات لا يجب أن يحجب عنا حقيقة أن عدداً كبيراً من كاسيات البذور يكون التلقيح فيها بواسطة الرياح. فأنواع الخور والبلوط والدردار والبيتولا ولسان الحمل والرجيد والنجيليات وكثير



الشكل ١٦-٨. التلقيح في القصعين. تضمن التلقيح الخلطي بواسطة: (١) نضج الأسدية قبل المتاع، (٢) آلية تلقيح تنثر حبوب اللقاح على الحشرة الزائرة، (٣) النمو للمتاع بحيث يكتسب ظهور النعل الذي يواصل سعيه في الزهرة من أجل الرحيق.

غيرها يكون التلقيح فيها بواسطة الرياح وأزهارها، ليس فيها بتلات ولا روائح ولا رحيق، كما أنها غالباً ما تكون ناقصة (كما هو الحال في مخاريط عاريات البذور التي يكون فيها التلقيح هوائياً أيضاً). تتعرض أسدية الأزهار المذكورة للرياح وتنتج كميات كبيرة من حبوب لقاح خفيفة وجافة. حبوب اللقاح التي تذورها الرياح قد تسبب حمى الحشيش hay fever عند الأدميين. المياسم في الأزهار الموثنة غالباً تكون طويلة ولزجة وعادة يحتوي المبيض على عدد قليل من البويضات.

على الرغم من أن الأزهار التي يكون التلقيح فيها بواسطة الرياح ليست لها قيمة جمالية إلا أنها تكون مسئولة عن قدرتنا على إيجاد الوقت للمتعة بكل القيم الجمالية. كل الحبوب التي نأكلها تأتي من أزهار التلقيح فيها يكون بواسطة الرياح. وكمجموعة فإنها تشكل بطريق مباشر أو غير مباشر الجزء الأكبر من غذاء الإنسان..

عندما تصل حبة اللقاح إلى الميسم بطريق أو بآخر في زهرة نبات من نفس النوع فلها تبت لتعطي أنبوبة لقاح. الخلية التناسلية تنقسم بانقسام غير مباشر فتعطي خليتين منويتين وتهاجر هاتان الخليتان مع نواه خلية الأنبوبة إلى داخل أنبوبة اللقاح كلما تعمقت إلى داخل غرفة البويضات. أنبوبة اللقاح ومحتوياتها تشكل الطور المشيجي البالغ. تدخل أنبوبة اللقاح إلى داخل البويضة من خلال فتحة النقير micropyle (الشكل ١٦-٦) ثم تتهتك وتتدمج إحدى الخلايا المنوية مع البيضة فيتكون الزيجوت ثنائي العدد الكروموسومي (٢ن). تتدمج الخلية المنوية الأخرى مع النواتين القطبيتين



لتكوين نواة الأندوسبرم . معظم كاسيات البذور يوجد بها نواتان قطبيتان ولذلك يكون الأندوسبرم ثلاثي العدد الكروموسومي (٣ن) وتتحلل نواة الأنثوية .

## THE SEED

## ١٦-٧ : البذرة

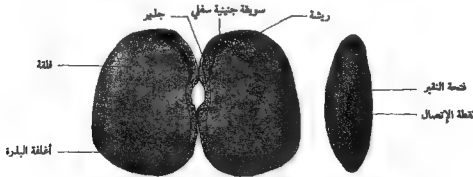
يؤدي الانقسام غير المباشر للزيجوت ونواة الأندوسبرم الى تكوين البذرة (الشكل ١٦-٩) وهي تتركب من :

١ - الريشة plumule وهي تتكون من ورقتين جنينيتين تتحولان الى أول ورقتين حقيقيتين في البادرة seedling ويرعم طرفي (أو قمى) . البرعم الطرفي هو المرستيم (أو النسيج الانشائي) meristem الذي سوف ينشأ منه كل نمو الساق فيما بعد .

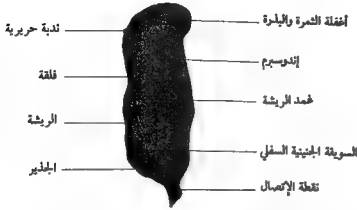
٢ - السويقة الجنينية السفلي hypocotyl والجذير radicle وهما ينموان لتكوين الساق والجذر الابتدائي على التوالي .

٣ - فلقة واحدة أو فلقتين cotyledons لاختران الغذاء الذي سوف يستفاد منه عند انبات البذرة . كاسيات البذور التي يكون فيها فلقتين تسمى ذوات الفلقتين dicots . الفول مثال مألوف (الشكل ١٦-٩) . كاسيات البذور التي توجد بها فلقة واحدة تسمى ذوات الفلقة الواحدة monocots (الشكل ١٦-١٠) والنجيليات الأخرى من ذوات الفلقة الواحدة .

الغذاء الموجود في الفلقات مستمد من الأندوسبرم وهو بدوره تلقاه من الطور الجرثومي الأبوي . في كثير من كاسيات البذور (الفول مثال جيد) يتم استفاد



الشكل ١٦-٩ . التراكيب في بذرة نموذجية لأحد ذوات الفلقتين وهو الفول .



**الشكل ١٦-١٠.**  
التركيب في حبة ذرة.  
لأن جدارها الخارجي  
مستمد في الواقع من  
جدار المبيض فإن حبة  
الذرة عبارة عن ثمرة بها  
بذرة واحدة.

الاندوسبرم بالكامل وعند اكتمال تكوين البذرة يكون مخزونه من الغذاء قد انتقل كله الى الفلقات. في البعض الآخر يستمر الاندوسبرم في البذرة الناضجة. ينطبق ذلك على بعض ذوات الفلقتين وكل ذوات الفلقة الواحدة. خلايا الاندوسبرم عادة تكون ثلاثية العدد الكروموسومي (٣ن) على خلاف الاندوسبرم أحادي العدد الكروموسومي في المخروطيات وبقية عاريات البذور (راجع الجزء ١٦-٥). وبينما توصل التركيب الموجودة داخل البذرة نموها تتغلظ جدر البويضات لتكوين الغلاف الواقي للبذرة.

البذرة إذن هي طور جراثيمي جنيني كامن dormant له مخزون غذائي وأغلفة واقية. وهو يؤدي وظيفتين : (١) انتشار النوع في أماكن جديدة (٢) المحافظة على النوع أثناء الأوقات التي تكون فيها الظروف المناخية غير ملائمة. الحوليات "annuals" (مثل الفول ومحاصيل الحبوب والكثير من الحشائش) يمكنها الاستمرار على قيد الحياة فقط عن طريق إنتاج بذور مقاومة. عند بدء الجو الجليدي في الخريف تموت النباتات البالغة ومع ذلك يبقى الكثير من بذورها حياً وإن كان كامناً خلال الشتاء. عندما تصبح الظروف مواتية مرة أخرى لنمو النبات تنبت البذور وينشأ جيل جديد من النباتات البالغة.

#### SEED DISPERSAL: THE FRUIT

#### ١٦-٨. إنتثار البذور: الثمرة

الثمرة هي نتاج نمو جدار المبيض وأحياناً أجزاء زهرية أخرى كذلك وهي تحوي بداخلها البذور. بالنسبة لعالم الأحياء فإن كلمة الثمرة لا تقتصر فقط على تلك الأنواع

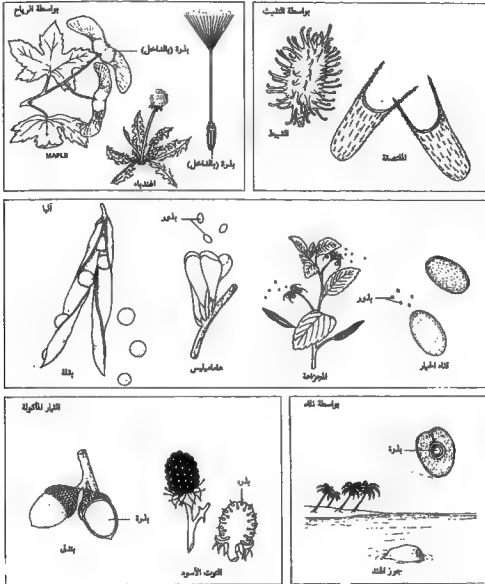
الغضة التي نستمتع بأكلها. الشكل ١٦-١١ يوضح بعض أنواع الثمار في كاسيات البذور.

في كل الأحوال تساعد هذه الثمار في إنتشار محتوياتها من البذور. فثمرة القيقب maple ومظلة الهندباء dandelion هما مثالان لانتشار البذور بواسطة الرياح. ثمار الشبيط cocklebur والملتصقة sticktights تحقق الانتشار للبذور التي توجد بداخلها عن طريق التثبيت بكساء أو فراء حيوان مار بالقرب منها وقدرة الحيوان على الحركة تساعد على انتقال البذور الى أماكن جديدة.

ثمرة جوز الهند coconut تحقق الانتشار لبذرتها الوحيدة عن طريق الطفو Float-ing الى أماكن جديدة. تجمعات من نخيل جوز الهند تحيط بكل جزر المحيط الهادي. الأشجار المائلة فوق الماء تسقط ثمارها والثمرة لا تنبت في الماء المالح ولكنها تظل حية (أي قابلة للإنبات) لفترات طويلة بينما تحملها تيارات المحيط وعندما تلقي بها الأمواج الى أحد الشواطئ فإنها قد تنبت لتعطي نخلة جديدة بالغة.

من أكثر محورات الثمار إثارة للاهتمام تلك التي تحقق الانتشار الألى. قرون البقوليات legumes والهاما ميليس Witch-hazel والمجزاعة touch-me-not وقش الحمار squinting cucumber كلها تلفظ ما بها من بذور بقوة عندما تحف الثمار في الخريف. وبينما لا تحقق المسافات التي تقطعها هذه البذور الانتشار السريع للنوع النباتي فإنها تقلل من فرص منافسة البادرات للآباء على ضوء الشمس والرطوبة ومعادن التربة.

الثمار التي تؤكل هي أيضا وسائل فعالة للانتشار. فالسناجب وفثران الحقول والقوارض الأخرى نادراً ماأأكل كل البندق والحبوب التي تقوم بتخزينها في الخريف وعند حلول الربيع تنبت البذور المنسية على مسافات بعيدة من النبات الذي أنتجها. الأنواع المختلفة من الثمار البنية berries تتميز ببذور ضئيلة يمكن أن تمر دون تحطيم خلال القناة الهضمية للطائر أو الحيوان الذي يتلها وعندما يطرد الحيوان هذه البذور فإنها تجد نفسها في موقع جديد تماماً أما السماد الذي يخرج من الحيوان مع هذه البذور فإنه يعمل كمصدر غني للمعادن والدوبال humus للبادرات الناشئة.



الشكل ١٦-١١. الثمار ودورها في انتشار البذور .

## GERMINATION

## ١٦-٩. الانبات

الإنبات هو استئناف النبات الجنيني الموجود داخل البذرة للنمو (الشكل ١٦-١٢) ولا بد له من درجة حرارة مناسبة وكمية مناسبة من الرطوبة ومدد كافٍ من الأكسجين . ما هو مناسب أو كافٍ لنوع نباتي قد لا يكون كذلك لنوع آخر ولكن لا بد من توفر هذه

الشروط الثلاثة لكل نوع بدرجة ما .

العديد من البذور يتطلب فترة كمن قبل الانبات . فمثلاً بذور التفاح والخوخ لن تنبت الا بعد فترة طويلة من التبريد وهناك دليل على وجود مشيط كيميائي في البذور عند بدء تكوينها . يتكسر هذا المشيط تدريجياً عند درجات الحرارة المنخفضة حتى لا يوجد منه ما يكفي لمنع الإنبات إذا ما كانت بقية الظروف ملائمة . (ما هي قيمة هذه الآلية بالنسبة لبقاء النوع؟) . بذور الكثير من كاسيات البذور الصحراوية بها مشيطات تمنع الانبات حتى يتم غسل هذه المواد بالماء في التربة وفي هذه العملية تكون كمية المياه المطلوبة أكثر مما يلزم للانبات فقط .

التعرض للضوء لمدة مناسبة هو أحد شروط الانبات أيضاً في بعض الحالات . فبذور بعض النباتات التي تنمو في المستنقعات لن تنبت الا بعد التعرض للضوء لفترة طويلة . وفي المقابل فإن بذور بعض النباتات الصحراوية لن تنبت إذا تعرضت للضوء لفترة طويلة . ماهي قيمة هذه الاستجابات بالنسبة لبقاء النباتات .

دورة حياة كاسيات البذور تشبه أساساً دورة حياة عاريات البذور فهي مثلها تسمح للنبات بالحياة الناجحة في البيئة الأرضية . ومع ذلك فإن كاسيات البذور أكثر تنوعاً ونجاحاً بكثير من عاريات البذور . هناك حوالي ٢٥٠ ألف نوع من كاسيات البذور الآن مقارنة بحوالي ٦٥٠ نوع فقط من عاريات البذور . أكثر من ذلك فإن كاسيات البذور قد استغلت و استعمرت بيئات أكثر بكثير من عاريات البذور . فهي تنمو في التندرا القطبية والسهول وغابات المناطق المعتدلة والصحاري والأدغال بأشكال وأعداد أكبر بكثير من أعداد وأشكال عاريات البذور . الكثرة الهائلة والتنوع الكبير وسعة الانتشار لكاسيات البذور في كل أنحاء العالم هي أكبر دليل على القيمة الباقية للتحورين التركيبين الفريدين فيها : الزهرة والثمرة .

## ١٠-١٦ . التكاثر اللاجنسي في النباتات

### ASEXUAL REPRODUCTION IN PLANTS

تستطيع كل الأنواع النباتية تقريباً إكثار أنفسها بطريقة لاجنسية تماماً كما تستطيع أداء التكاثر الجنسي . ويتم في التكاثر اللاجنسي إنتاج ذرية جديدة من أب واحد ولا يجب



الشكل ١٦-١٢.  
ثلاث مراحل في  
انبات بلور الفول  
مسجلة بالتصوير  
البطيء. الفلقات  
تحمى الريشة من  
التلف أثناء خروجها  
من السرة.  
(بتصريح من شركة  
بتسيرة للألواح  
الزجاجية).

النظر إلى التكاثر اللاجنسي على أنه بديل بدائي للتكاثر الجنسي، فإن التكاثر الجنسي يكاد يكون قديم قدم الحياة نفسها. فالتكاثر اللاجنسي يمثل ببساطة وسيلة بديلة لإنجاب الذرية وله مزاياه (وعيوبه) الخاصة به.

على الرغم من أن كل عضو نباتي قد تم استغلاله في التكاثر اللاجنسي إلا أن الساق كانت أكثرهم استغلالاً. في بعض الأنواع تنمو الساق الهوائية على هيئة أقواس فوق سطح الأرض، وتنشأ الجذور عند أطرافها فتكون أفراداً جدد. السوق الأفقية (تسمى مدادات Stolons) لنبات الفراولة تنتج نباتات جديدة لا تلبث أن تحيا حياة مستقلة، (الشكل ١٦-١٣).

النباتات التي يكون لها سوق تحت أرضية (ريزومات rhizomes ، كورومات Corms ، أبصال bulbs ، درنات tubers- أنظر الشكل ٣٨-١٤) تستعمل هذه الأعضاء في التكاثر تماماً كما تستخدمها في تخزين الغذاء. فمثلاً أنواع السوسن iris والزنبق lilies تنشر بسرعة من خلال نمو ريزوماتها.

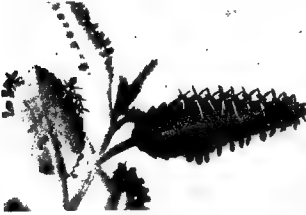
بعض النباتات (مثل الهندباء) تستطيع تكوين أفراد جدد من جذورها والقليل من النباتات يستخدم أوراقه لهذا الغرض (الشكل ١٦-١٤). ثمار الحمضيات *Citrus* وبعض الأنواع تستخدم حتى البذور كطريقة للتكاثر اللاجنسي وهي عملية تسمى *apomixis*. في أحد الأشكال تتكون البويضة بحيث تكون ثنائية العدد الكروموسومي (٢ن) وتنمو دون أن يتم إخصابها. في صورة أخرى تتحول خلايا البويضة (٢ن) إلى جين بدلاً من أو بالإضافة إلى البويضة المخصبة.

على الرغم من أن التكاثر اللاجنسي في النباتات يأخذ صوراً عديدة مختلفة إلا أنها تشترك جميعاً في سمة أساسية واحدة: الانقسام غير المباشر. الأفراد الجدد ينشأون من الانقسام غير المباشر لخلايا أب واحدة. وإذا استبعدنا احتمال حدوث الطفرة فإن ذلك يضمن أن الذرية تكون مطابقة تماماً للأب. في غالبية أمثلة التكاثر اللاجنسي فإن الذرية تنشأ بالقرب من الأب فإذا افترضنا أن الأب كان متأقلماً تماماً مع المكان فإن الذرية تكون متأقلمة معه كذلك.

لأن بعض النباتات تكون فيها صفات مرغوبة بصفة خاصة (لون الأزهار، الطعم، مقاومة الأمراض، الخ) فإن النباتات ذات القيمة الاقتصادية يتم إكثارها عن عمد بوسائل لاجنسية. العقل *cuttings* يمكن أخذها من النبات الأب وغرسها (الشكل



الشكل ١٦-١٣. التكاثر اللاجنسي في الفراولة. النباتات الجديدة تنشأ على طول السوق الأفقية (المدادات).



الشكل ١٦-١٤.  
أوراق نبات الزينة  
الشائع بريوفيلم.  
لاحظ النباتات الصغيرة  
التي نشأت بالتكاثر  
اللاجنسي على طول  
الحافة.

٢٦ - ١٥)، التطعيم grafting هو طريقة شائعة لاكتثار الأصناف المرغوب فيها من الشجيرات والأشجار. العاملون في المشاتل فقط هم الذين يزرعون بذور التفاح لإنتاج أشجار التفاح وهم لا يقومون بتربية البادرات لمجرد الحصول منها على الثمار، وإنما لإنتاج مجموع جذري قوي وبعد سنة من النمو يتم استئصال الجزء الهوائي من جسم النبات ويؤخذ فرع (الطعم Scion) من شجرة بالغة من الصنف المرغوب فيه ويغرس في شق في الجذع المقطوع (الأصل stock) (الشكل ١٦-١٥). طالما كانت أنسجة الكامبيوم Cambium من الطعم والأصل متحدة وتم اتخاذ الاحتياطات الواجبة لمنع العدوي والجفاف فإن الطعم سوف ينمو ويحصل على كل احتياجاته من الماء والأملاح المعدنية من خلال المجموع الجذري للأصل. ومع ذلك فإن الثمرة التي سوف تنتج في نهاية الأمر سوف تكون مماثلة تماماً (على فرض أنها أنتجت تحت ظروف بيئية مشابهة) للثمار الناتجة من الأشجار التي أخذنا منها الطعم.

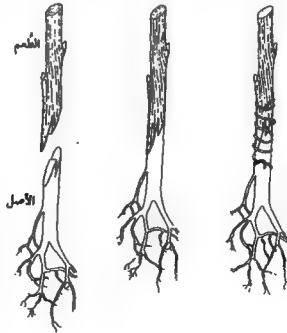
الحاجة إلى تحديد الظروف البيئية المشابهة تتضح بجلاء في صناعة النبيذ. فمعظم مزارع العنب الفرنسية تزرع أعناب يتم اكثارها خضرياً من أعناب ولاية كاليفورنيا ومع ذلك فإن أعناب فرنسا (والنبيذ الناتج منها) تختلف بعض الشيء عن تلك الموجودة في كاليفورنيا.

صنف ماکتوش من التفاح هو واحد من أصناف عديدة شائعة تزرع في الولايات المتحدة وكندا، وقد وجدت أول شجرة منذ أكثر من ١٥٠ عاماً نامية في مزرعة جون ماکتوش في أونتاريو بكندا وكانت قد نمت من بذرة، وقد أحسست زوجة ابن ماکتوش



بالصفات المرغوبة لثمار هذه الشجرة . أكثر من ذلك فإنها كانت تعلم أنه لا فائدة من محاولة الحصول على أشجار جديدة من نفس الصنف عن طريق البذور الموجودة في ثمار هذه الشجرة بالذات فالبذور تنتج من التكاثر الجنسي الذي لا بد فيه من مشاركة أبوين وبينما شجرة ماكتنوش سوف تكون أحد هذين الأبوين فإن الأب الآخر ربما كان شجرة أخرى تنمو في نفس المنطقة وسوف تظهر على الذرية صفات من الأبوين وربما أدى ذلك إلى إنتاج تفاح أفضل وربما أدى إلى تفاح أسوأ . الطريقة الوحيدة لاكتثار شجرة ماكتنوش وجعلها متاحة لمربي التفاح الآخرين هي طريقة التكاثر اللاجنسي . الطعوم المأخوذة من الشجرة الأصلية والمطعمة على أصول من أي شجرة تفاح أخرى سوف تنتج تفاحاً من نفس صنف الماكتنوش . كل واحدة من مئات الآلاف من أشجار التفاح من صنف الماكتنوش المزروعة الآن انحدرت عن طعم مأخوذ من تلك الشجرة الأولى . أو بعبارة أخرى فإن كل هذه الأشجار تشكل مجموعة متماثلة clone حيث أنها جميعاً تشترك في نفس التركيب الوراثي لأنها جميعاً نشأت من الانقسامات المتوالية لخلايا تلك الشجرة الأولى .

في كل أنواع التكاثر اللاجنسي تكون الذرية مماثلة للأب من كل النواحي طالما تمت تربيتها تحت ظروف بيئية مشابهة للظروف التي عاش فيها الأب . إذا كان النوع النباتي



الشكل ١٥-١٦ . اكثار أشجار التفاح لاجنسيا بالطعوم . قطعة من ساق (الطعم) من الصنف المرغوب يتم غرسها في شق يقطع في جذع الأصل . الثمرة التي تنتج في النهاية سوف يكون فيها كل ميزات الصنف الذي أخذنا منه الطعم وليس الصنف الذي أخذنا بالأصل .

ناجحاً في موطنه فإن أي تغير متوارث في الذرية يكون ضاراً. التكاثر اللاجنسي هو وسيلة لإنجاب أفراد جدد قد لا يبدو عليهم مثل هذا التغير ولذا فهو يميل إلى المحافظة على الأمر الواقع. ومع ذلك إذا حدث تغير في الظروف البيئية فإن التمسك بالأمر الواقع قد يؤدي إلى الفناء. الطريق الوحيد الذي يمكن الاعتماد عليه للتطور في مواجهة الظروف البيئية المتغيرة هو إعادة ترتيب الجينات التي يحققها التكاثر الجنسي. ليس من المستغرب إذن أن تكون غالبية الأنواع النباتية قادرة على التكاثر بالطريقتين الجنسية واللاجنسية كي تستطيع البقاء في مواجهة الظروف البيئية التي تكون ثابتة في بعض الأوقات ومتغيرة في أوقات أخرى.

### ملخص الباب

### CHAPTER SUMMARY

النباتين بين الانقسام الاختزالي والأخصاب يقسم دورة حياة النباتات إلى طور مشيحي أحادي العدد الكروموسومي وطور جرثومي. وبسبب عدم قدرة النباتات على الحركة يكون لديها مشاكل يجب حلها حتى تتمكن من إتمام التكاثر الجنسي. من هذه المشاكل: (١) نقل الأمشاج المذكرة إلى الأمشاج المؤنثة بطريقة تحميها من الجفاف، (٢) انتشار الذرية في بيئات ومواطن جديدة.

الأزهار هي وسيلة التكاثر الجنسي في كاسيات البذور. حبوب اللقاح المقاومة للتجفيف يتم إنتاجها في الأسدية وتحملها من زهرة إلى أخرى عوامل مختلفة مثل الرياح والحشرات (مثل الحشرات، الطيور، الخفافيش). يتم تكوين المني، ويحدث الأخصاب في الأنسجة الرطبة للمتعاقب، أما تكوين الزيجوت فإنه يبدأ طورياً جرثومياً جديداً.

بواصل الزيجوت النمو حتى تتكون البذرة، ينمو جدار المبيض (ومعه أحياناً أجزاء زهرية أخرى) ليعطي ثمرة. الثمار هي محورات تساعد في انتشار محتوياتها من البذور إلى أماكن جديدة، كذلك فهي تحقق الانتشار بعدة طرق منها:

- (١) طرق آلية وذلك بطرد محتوياتها من البذور
- (٢) استغلال الرياح وتيارات الماء لحمل البذور إلى أماكن جديدة
- (٣) الاستفادة من الحيوانات في توزيع البذور.

الكثير من النباتات تستطيع أن تتكاثر بطرق لاجنسية، والذرية الناتجة من التكاثر

اللاجسي تكون مشابهة وراثياً (اذ استبعدنا الطفرات) للآباء ولذلك تكون مجموعات متماثلة . النباتات التي توجد بها صفات مرغوبة لابد من اكثارها بواسطة التكاثر اللاجسي، حتى نضمن المحافظة على هذه الصفات .

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - أين تقع الحواظ الجراثومية في كل من :  
(أ) الحزازيات ، (ب) السرخسيات ،  
(ج) الصنوبر ، (د) شجرة التفاح ؟
- ٢ - ماهي أوجه التشابه بين الأطوار المشيجية للحزازيات والسرخسيات وكاسيات البذور ؟
- ٣ - ماهي أوجه الاختلاف بينهم ؟
- ٤ - ماهي أوجه التشابه بين الأطوار الجراثومية للحزازيات والسرخسيات وكاسيات البذور ؟
- ٥ - ماهي التحورات التي تجعل الحزازيات مهياً جيداً للحياة على الأرض ؟ وماهي نواحي القصور التي تجعلها غير مهية لذلك ؟
- ٦ - ماهي الشروط الثلاثة التي لابد من توفرها دائماً حتى يحدث إنبات البذور ؟
- ٧ - ماهي العوامل الاضافية التي تكون ضرورية أحياناً لإنبات البذور ؟
- ٨ - صف الطريقة العملية التي يمكنك استخدامها للكشف عن حيوية البذور في الفول بعد تخزينها لمدة خمس سنوات .
- ٩ - صف التجربة المستخدمة في تحديد درجة الحرارة المثل لانبات بذور الفول .
- ١٠ - ماهو النسيج النباتي الذي يكون عادة ثلاثي العدد الكروموسومي ؟
- ١١ - ماهي الخلايا التي يحدث بها انقسام اختزالي في كل من :  
(أ) الحزازيات ، (ب) الفول ؟
- ١٢ - التكاثر الذي يحدث في الأزهار المغلفة لنبات البنفسج (أنظر الشكل ١٦-٨) هو تكاثر جنسي لأنه يتضمن اتحاد مشيجين . فهل يحقق ما يحققه التكاثر الجنسي في الأزهار المفتوحة ؟ ماهي العواقب طويلة المدى إذا ما اقتصر التكاثر في نبات

## البنفسج على الأزهار المغلقة فقط؟

## REFERENCES

## المراجع

1. WATSON, E.V. Mosses, Oxford Biology Readers, No. 29, Oxford University press, Oxford, 1972.
2. RAVEN, P. H., R. F. EVERT, and HELENA CURTIS, Biology of plants. 2nd ed., Worth, New York, 1976. A beautifully illustrated botan text with details of the reproductive methods of representatives of each of the major plant groups.
3. GRANT, V., "The Fertilization of Flowers", Scientific American, Offprint, No. 12, June, 1951.
4. BAILE, J. B. The Ripening of Fruit, Scientific American, Offprint No. 118, May, 1954.
5. KOLIER, D., Germination, Scientific American, Offprint No. 117, April, 1959.

## CHAPTER 17

## الباب السابع عشر

### التكاثر في الحيوانات

## REPRODUCTION IN ANIMALS

ASEXUAL REPRODUCTION IN ANIMALS	التكاثر اللاجنسي في الحيوانات	١٧-١
FORMATION OF GAMETES	تكوين الجاميطات	١٧-٢
BRINGING GAMETES TOGETHER	جمع الجاميطات سوياً	١٧-٣
FERTILIZATION	الأخصاب	١٧-٤
CARE OF THE YOUNG	العناية بالصغار	١٧-٥
HUMAN REPRODUCTION	التكاثر في الإنسان	
THE SEX ORGANS OF THE MALE	أعضاء التناسل في الذكر	١٧-٦
THE SEX ORGANS OF THE FEMALE	أعضاء التناسل في الأنثى	١٧-٧
COPULATION AND FERTILIZATION	التزاوج والأخصاب	١٧-٨
PREGNANCY AND BIRTH	الحمل والولادة	١٧-٩
REPRODUCTION ENGINEERING: THE PROSPECTS	هندسة التكاثر: آفاقها	١٧-١٠
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب	
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل	
REFERENCES	المراجع	



## الباب السابع عشر

### التكاثر في الحيوانات

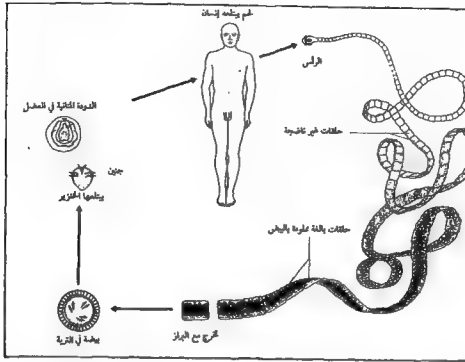
١٧-١. التكاثر اللاجنسي في الحيوانات:

#### ASEXUAL REPRODUCTION IN ANIMALS

توجد طرق التكاثر اللاجنسي بقلّة في الحيوانات ، أقل منها بكثير عما في النباتات . فبعض الديدان الصغيرة تتكاثر بطريقة الانشقاق (Fragmentation) فبعد نمو الدودة الى حجمها الطبيعي تنكسر الى ثنائي أو تسع قطع ، كل قطعة منها الى دودة بالغة ثم تتكرر هذه الطريقة .

كما يوجد عدد من الحيوانات تتكاثر بطريقة التبرعم (Budding) ويكبر البرعم وهو ينمو على جسم الأبوين وفي بعض الأنواع ، كما في سمك الجيلي ، تنفصل البراعم بعيدا عن الأبوين وتعيش حياتها المستقلة . وفي أنواع أخرى كما في المرجان (Corals) تبقى البراعم ملتصقة بالأبوين وتعطي عملية التكاثر هذه مستعمرات حيوانية .

والتكاثر بالتبرعم صفة منتشرة في الحيوانات المتطفلة ، الدودة الشريطية أوضح نموذج على ذلك . فلحم الخنزير الذي لم يتم طبخة جيدا يحوي الديدان المثانية -Blad der Worms لدودة الخنزير الشريطية تينيا سوليم *Taenia solium* تتكون كل من الديدان المثانية من حافظة (Capsule) تحتوي على رأس (Scolex) (الشكل ١٧-١) . وعند ابتلاع تلك الدودة المثانية يذيب العصير المعوي جدار الكبسولة في المعدة ، ثم تدفع الرأس نفسها من الداخل للخارج وتثبت نفسها بواسطة مصمات وخطاطيف بجدار الأمعاء ، ثم تكون تلك الرأس بعد ذلك براعم [Proglottids-



الشكل ١٧-١. دورة حياة دودة الخنزير الشريطية *Taenia solium*. التكاثر اللاجنسي للحلقات بالرأس قد ينتج سلسلة طولها ٦ أمتار (١٢ قدم) تحتوي على أكثر من ١٠٠ حلقة، كل حلقة يمكن اعتبارها فردا منفصلا. الحلقات تميد التكاثر جنسيا.

بروجلوتيدات] وهي الحلقات في طرفها الخلفي مع بقاء تلك البروجلوتيدات متصلة مع بعضها البعض، بعد نضج تلك البروجلوتيدات تنمو لها أعضاء التناسل الجنسية.

وتنفصل أكثر بروجلوتيدة نضجا بعد ذلك وتخرج مع البراز، وقبل حدوث هذا الانفصال قد يصل طول سلسلة البروجلوتيدات نحو ٢٠ قدما وتحتوي تلك السلسلة على أكثر من ١٠٠٠ بروجلوتيدة. ومع وجود جهاز عصبي مضمحل وكذلك جهاز عصبي وجهاز إخراجي تشترك فيها جميع البروجلوتيدات، إلا أن كل بروجلوتيدة يمكن اعتبارها كائن منفصل.

وبعض الأنواع القليلة من الحيوانات الراقية لها طريقة تكاثر لاجنسية تدعو إلى العجب تسمى بطريقة التوالد البكري (Parthenogenesis). فالأنات تنتج بيضا يفقس وتخرج منه الصغار بدون تلقيح بواسطة الذكر. ويحدث التوالد البكري في بعض الأسماك، أنواع كثيرة من الحشرات، قليل من أنواع



السحالي . وفي حالات قليلة ، نجد أن التوالد البكري هو الوسيلة الوحيدة التي يتكاثر بها النوع ، لكن في أغلب الحالات ، تضطر الحيوانات الى التكاثر بكريا في أوقات معينة فقط . فمثلا حشرة المن (Aphid) تتكاثر بكريا في الربيع عندما تجد نفسها محاطة بوفرة من الغذاء ، حيث أن التكاثر البكري أسرع بكثير من التوالد الجنسي واستخدام طريقة التوالد البكري هذه تيسر للحشرة إنتاج أفراد وفيرة لاستغلال هذه الوفرة من الغذاء . ولربما كانت وظائف كل طرق التكاثر اللاجنسي هو تشجيع بناء المستعمرات واستغلال البيئة الحيوانية .

وفي بعض الأحيان نجد أن التكاثر اللاجنسي يحدث بالتبادل مع ، وليس بديلا عن ، التكاثر الجنسي . وكما في النباتات ، فالتكاثر الجنسي يعتبر طريقة هامة لحدوث أي جينات جديدة ، وبمرور الوقت فإن توارث الاختلافات الجينية في التكاثر الجنسي تمكن النوع من الملاءمة السريعة للتغيرات التي تحدث في البيئة ، أي أن النوع يتطور .

#### ١٧-٢ . تكوين الجاميطات : THE FORMATION OF GAMETES

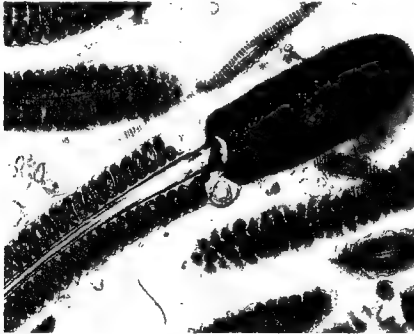
الحيوانات ليست كالنباتات ، لا تنتج أجيالا ثنائية الكروموسومات (Diploid) ، وحيدة الكروموسومات (Haploid) بالتبادل ، فالأخصاب يسبقه دائما الانقسام الاختزالي (Meiosis) ، لكن نواتج هذا الانقسام الاختزالي هي الجاميطات نفسها . وفي جميع الحيوانات تنتج جاميطات مختلفة غير متشابهة ولكن يمكنها تأدية وظيفتها فإن أحد تلك الجاميطات يكون متحركا (الحيوان المنوي Sperm) ليتقابل مع الجاميط الآخر الثابت (البويضة Egg) ويحدث التلقيح ويتكون الجنين .

وللخلية المنوية أي الحيوان المنوي ذيل ، كما يحتوي جسم الحيوان على نواه وتنتج الحيوانات المنوية داخل الخصى (Testes) بواسطة خلايا خاصة تسمى سبرماتوجونيا (Spermatogonia) وهي ثنائية الكروموسومات . وتنقسم الأسبرماتوجونيا هذه أنقساما غير مباشر (Mitosis) لأعطاء المزيد من الأسبرماتوجونيات أو ربما تتحول الى سبرماتوسايتات (Spermatocytes) والانقسام الاختزالي (Meiosis) لكل إسبرماتوسايت يعطي أربعة خلايا وحيدة الكروموسومات (Haploid) تسمى اسبرماتيدات (Spermatids) (الشكل ١٧-٢) وهذه تصبح فيما بعد خلايا منوية بعد أن تفقد غالبية السيتوبلازم أثناء عملية التحول هذه .

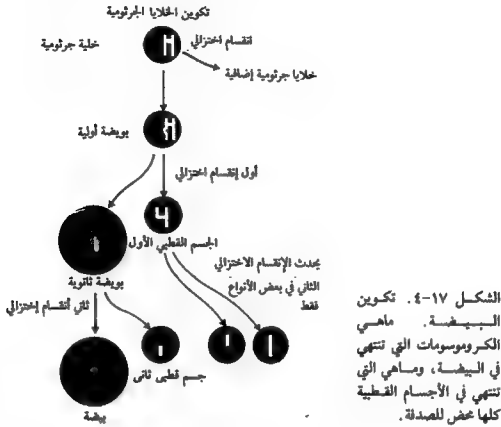


وايزمان (Weismann) القائلة بالأنعزال المبكر لبلازما الخلايا التناسلية عن بلازما الخلايا الجسمية.

ويبدأ تكوين البويضة عندما تبدأ خلية الأوجونيا (Oogonia) في النمو وتتحول الى بويضات أولية تسمى أو أوسايتات (Oocytes) (الشكل ١٧-٤)، تدخل هذه الخلايا الثنائية الكروموسومات في المرحلة التحضيرية (Prophase) للانقسام الاختزالي الى حيث يقف نموها عند هذا الحد. ولا يحدث أي نمو لخلايا الأوسايتات الا قبل استعداد الحيوان للدخول في النشاط التكاثري. ويحدث هذا في الضفادع مرة واحدة في السنة - عادة في الربيع - بعد بلوغ الطور البالغ، تبدأ بعد ذلك آلاف من البويضات (Oocytes) مرحلة نمو واضحة في الخلايا. وتحاط كل خلية من تلك البويضات بمجموعة من الخلايا تسمى فوليكول (Follicle) وتنتقل المواد الغذائية من خلايا الفوليكول الى البويضة النامية ويزداد حجم بيض الضفدعة اثناء هذه الفترة أكثر من مليون مرة.



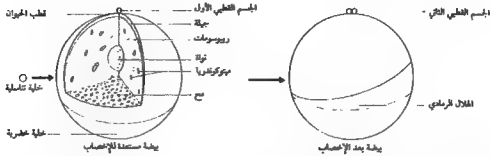
شكل ١٧-٣. خلية حيوان منوي في خضاض (كبر ١٢,٠٠٠ مرة). لاحظ الترتيب المنظم للميتوكوندريا في الذيل. وهي تمد الحيوان بالطاقة اللازمة لحركته. (بصريح من دون و. فاوست، سوسوموايتو).



وعند انتهاء هذا الطور من النمو، تكون خلية البويضة عبارة عن كرة كبيرة تحتوي في سيتوبلازمها على كميات كبيرة من (DNA) و (RNA) ومع وميتوكوندريا وحبوبات زيتية ولا تتوزع المواد المذكورة بانتظام في بويضة الضفدعة بل في كميات متدرجة ابتداء من قطب الى قطب . فالنصف الغامق من البويضة يحده من أعلى القطب الحيواني (Animal pole) ويخالف المح، فإن أغلب محتويات البويضة تتركز قرب هذا القطب، كما توجد النواه أيضا في هذا الجزء ويزداد تركيز المح جهة الطرف المضاد وهو الطرف الفاتح لونا والذي يسمى بالقطب الخضري (Vegetal pole).

وبقرب إنتهاء نمو البويضة الأولية يكون قد اكتمل أيضا أول أنقسام اختزالي، ولا يتوزع السيتوبلازم بالتساوي بين الخليتين الناتجتين بل يذهب أكثره الى إحداها، تسمى الخلية الأخرى بالجسم القطبي (Polar body) (الشكل ١٧-٦).

وفي معظم الفقاريات يستمر الانقسام الاختزالي الثاني حتى طور المرحلة الانتقالية



شكل ١٧-٥. نمو بيضة صفيدة. دخول خلية الأسرم نتيجة إعادة تنظيم المواد السيتوبلازمية في الهلال الرمادي ثم بعد ذلك اكتمال الانقسام الاختزالي الثاني.

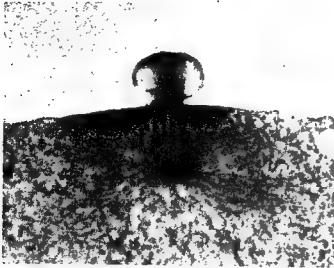
(Metaphase) ثم يتوقف عند ذلك، تكون البويضة عندئذ مستعدة للنزول من خلايا الفوليكول، يطلق على هذه العملية بالتبويض (Ovulation) وتتشقق خلايا الفوليكول وجدر المبيض لتسمح للبويضة للمرور الى فراغ الجسم ثم تدخل البويضة في قناة المبيض حيث تضاف اليها مواد إضافية، مثل حلقات الألبومين الجيلاتينية في الصفيدة، تنتظر البويضة بعد ذلك عملية الإخصاب.

ويقاس عمر الحيوان المنوي والبيضة اللذين تم نزولها عادة بالساعات. والمسافة التي يستطيع الحيوان المنوي سباحتها محدودة، لذلك يضع الذكر حيواناته المنوية بالقرب من البيضة (أو البيض) حيث أن الذكور نفسها (وكذلك الأنثى بطبيعة الحال) قادرة على الحركة. ولا بد من توافر المحيط الرطب لضمان تحرك الحيوان وبالتالي إخصاب البيضة.

### ١٧-٣. إحصار الجاميطات سويا :

#### BRINGING THE GAMETES TOGETHER

لا توجد أية مشكلة في توفر المحيط الرطب عند الحيوانات المائية لحدوث الإخصاب، إذ أن الإخصاب يحدث مباشرة في الماء بعد نزول الجاميطات من الأبوين. ولضمان تقابل الجاميطات المذكرة مع المؤنثة فعابا ما توضع تلك الجاميطات قريبة من بعضها البعض. كما يتطلب هذا كذلك بلوغ النضج الجنسي لكلا الجنسين الذكور والأنثى في نفس الوقت تقريبا وفي نفس المكان. وبعض الحيوانات سلوك دوري خاص بخصوص عملية التناسل، ففي سمك كاليفورنيا جرانينون يسبح الجنسان في



شكل ١٧-٦. تكون  
الجسم القطعي أثناء تكوين  
البيضة في الذبابة البيضاء.  
(بتصريح من تيرتوكس).

مياه ضحلة للتخلص من جامطاتها مرة عند اكتمال القمر ومرة أخرى عند أوائل ظهور القمر. وفي أنواع أخرى يقوم أحد الجنسين فقط (وهو عادة الذكر) ببعض الأنشطة السلوكية المعينة (الغزل) في حضور الجنس الآخر (الأنثى)، تعمل هذه الأنشطة كزناد يؤدي إلى وضع البيض في الأنثى.

وربما كانت أول الحيوانات الأرضية هي المقارب والحشرات. ولقد خلقت هذه المعيشة الأرضية مشاكل أمام تقابل الجامطات مع بعضها البعض وممايتها في نفس الوقت من الجفاف بالهواء، وكان الأخصاب الداخلي هو الحل الوحيد لذلك، فالقضيبي في الذكر يدخل في فتحة الأنثى التناسلية أثناء عملية التلقيح (الجماع) (Copulation) لنقل الحيوانات المنوية إلى الأنثى. وفي الحشرات تخزن الحيوانات المنوية داخل الأنثى في القابلة المنوية لحين استعداد الأنثى لوضع البيض، عند نزول هذا البيض في قنوات المبيض يتم أخصابها بالحيوانات المنوية (الشكل ١٧-٧).

وأول الفقاريات التي وجدت على اليابسة كانت الحيوانات البرمائية (Amphibians)، كما يدل الاسم فإن تلك الحيوانات هي في الحقيقة نصف أرضية. فمعظم الضفادع لا بد لها من الرجوع إلى الماء للتزاوج كما يحدث الأخصاب في الماء. وفي نوع الضفادع المعروف باسم Bullfrog على سبيل المثال يحتضن الذكر الأنثى بطريقة يطلق عليها اسم أمبليكسس (Amplexus)، عند وضع الأنثى لآف البيض في الماء يضع الذكر فوقها

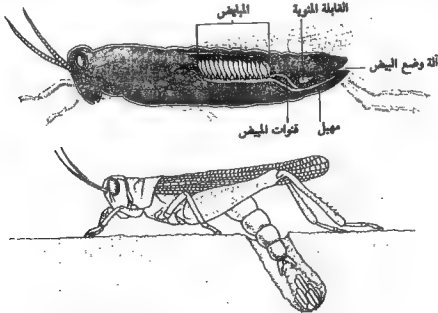
حيواناته المنوية، بذلك لا يحدث تلقیح .

وكانت الزواحف أول فقاريات حقيقية تعيش في بيئة أرضية حقيقية، لذلك زودت بخواص فسيولوجية وتشريحية (مورفولوجية) تسمح لها بالعيش في الأجواء الحارة الجافة . وبالنسبة الى تكاثرها الجنسي فلقد تغلبت تلك الزواحف على نقص الرطوبة اللازمة للجاميطات بالأخصاب الداخلي، ففي أغلب الحالات يتزاوج الذكر مع الأنثى لدفع حيواناته المنوية مباشرة في داخل فتحتها التناسلية . وتغلبت الطيور والثدييات كذلك على مشكلة أخصاب الجاميطات سويا في وسط رطب بعملية التلقيح التي يعقبها الأخصاب الداخلي .

#### FERTILIZATION

#### ١٧-٤ . الأخصاب :

تبدأ عملية الأخصاب عند لمس الحيوان المنوي للبويضة، إذ عندئذ تفرز الحيوانات المنوية إفرازات هاضمة لأذابة مكان ثقب في طبقات قشرة البويضة البروتينية وكذلك-في بعض الأنواع - في خلايا الفوليكل التي تحيط غالبا بالبويضة . وعند دخول الحيوان المنوي داخل البويضة، تقوم الأخيرة بدورها وذلك بسحبها الحيوان المنوي للداخل



شكل ١٧-٧ . أعضاء التناسل في أنثى النحاسة . الحيوانات المنوية تخزن في قابلات منوية بعد التلقيح بواسطة الذكر . يحدث الإخصاب عند مرور البيض خلال المهبل قبل وضعه في التربة .

ويحدث تحولات سريعة دراماتيكية داخل البيضة نفسها، فتعبد محتويات البيضة السيتوبلازمية ترتيب نفسها. وتوجد في الضفدعة حبيبات سيتوبلازمية خاصة تظهر على سطح البيضة مكونة شريطا يسمى بالهلال الرمادي (Gray Crescent) (الشكل ١٧-٥)

وفي كثير من البيض، يمنع دخول حيوان منوي واحد داخل البيضة دخول أي حيوان آخر، لكن هذا لا يحدث في البيض الكبير الحجم مثل بيض الزواحف والطيور، في تلك الحالة ولو أن العديد من الحيوانات المنوية تنجح في الدخول الى داخل البيضة إلا أن حيوانا منويا واحدا فقط هو الذي تشارك نواته في تكوين زيجوت المستقبل. وعلى أية حال فإن دخول الحيوان المنوي يعمل كشارة لتكملة الانقسام الاختزالي الثاني وتكوين جسم قطبي ثاني أيضا.

وتعتبر آخر مرحلة في عملية الإخصاب هي في كبر حجم رأس الحيوان المنوي لتكوين نواه أولية (Pronucleus) تهاجر بدورها الى مثيلتها في البيضة، وبالتحام النواتين تتكون نواه زيجوت ثنائية الكروموسومات وعندئذ يكتمل الإخصاب. ويعد ذلك بوقت قصير تقوم خلية الزيجوت هذه بأول انقسام غير مباشر وتبدأ عملية تكوين الجنين.

#### CARE OF THE YOUNG

#### ١٧-٥. العناية بالصغار

توجد علاقة هامة بين عدد الجاميطات، وخاصة البيض، الذي تنتجه الثدييات المختلفة وبين العناية التي تعطي للجنين أثناء النمو. ولكي يستمر أي تعداد في حجم ثابت لابد من أن يصل فردان من الصغار الى البلوغ لكل زوج من الأباء. والقليل جدا من الحيوانات المائية تعتني ببيضها بعد إخصابه وبذلك تكون نسبة الموت بين الصغار عالية جدا. ولتعويض هذا الفقد يمكن للأنثى البالغة للحيوان المائي القشري *Crasostrea virginica* (الأويستر الأمريكي) أن يبيض أكثر من مليون بيضة في الموسم الواحد. والفرصة الموجودة لبلوغ حيوان صغير ناتج من بيضة واحدة من يبيض هذا الأويستر الأمريكي الى الطور البالغ صغيرة جدا، إذ أنه حتى عند نجاح الإخصاب فإن الصغار تتعرض أثناء إحدى فترات نموها للهلاك بواسطة الفيروسات أو الإصابة بالأمراض أو بأية حوادث أخرى. وتعطي بعض الحيوانات المائية، كما في القواقع ذات المصراعين التي تعيش في المياه العذبة وبعض الأسماك بعض



العناية لبيضها. فبلح البحر (Clam) الذي يعيش في المياه مثلاً يحتفظ ببيضه المخصب في خياشيمة إلى أن يجين الفقس، كما يبني أحد أنواع الأسماك المسمى (Stickleback) عشاً يقوم بحراسته وتهوية البيض الموجود بداخله، والغريب أن مثل تلك الأنواع التي تعتني بصغارها تضع أعداداً قليلة من البيض.

وبيض معظم الحيوانات المائية صغير الحجم، في عدد كبير من الأنواع لا يشبه الصغير الذي يفقس من البيضة الحيوان البالغ بل يكون على صورة يرقة تختلف كلياً في الشكل عن الأبوين، تسبح تلك اليرقات حرة في الماء وتتغذى على الكائنات النباتية والحيوانية الدقيقة المعروفة باسم بلانكتون (plankton). ويحدث بعد فترة من النمو تطور في تلك اليرقات ويتغير تركيب جسمها إلى الطور البالغ، وقد يحدث التطور على مراحل عدة (كما في القشريات والرخويات) أو على مرة واحدة (كما في سمك النجمة).

وتحتاج جميع الحيوانات الأرضية إلى بعض الوسائل التي تحمي بها صنفها من الجفاف بواسطة التيارات الهوائية. ففي الحشرات تكون هذه الحماية على شكل غلاف غير منفذ للماء يحيط بالبيضة، في بعض الحالات، تكون الحماية على هيئة كبسولة أو حافظة تضعها الأنثى حول كتلة البيض. ويختلف عدد البيض الملقح الموضوع في كل فصل من الفصول من مئات إلى آلاف تبعاً لنوع الحشرة وتبعاً لمقدار العناية التي ينالها البيض. ويكون حظ الأعداد الصغيرة في الحيوانات الأرضية أكبر عما في الحيوانات المائية للوصول إلى طور البلوغ. وتبلغ العناية بالصغار أوجهاً في مستعمرات النمل والنحل والتي تصل نسبة كبيرة من البيض الملقح إلى البلوغ. من الواضح أن أغلب صغار النمل والنحل ماهي إلا شغالات عقيمة تعمل على سهولة وجود تعداد ثابت لتلك الحشرات. ولا تعتني أغلب البرمائيات المعروفة ببيضها، إذ أنه بعد الإخصاب يترك البيض ببساطة لينمو في الماء، وتقوم الطبقات الجيلاتينية من الألبومين التي تحيط بالبيض بامتصاص الماء مما يجعلها تنتفخ مكونة حماية طبيعية لهذا البيض، كما تساعد تلك الطبقات الجيلاتينية في حفظ البيض في درجة حرارة أدفأ من الماء المحيط به. ويكون الجيلاتين المحيط بالبيض شفافاً ومنفذاً لأشعة الشمس التي تمتصها الطبقة الغامقة الموجودة بالسطح العلوي للبيض النامي، تتحول تلك الطاقة الضعيفة الناتجة عن أشعة الشمس إلى حرارة تدفئ الجنين. والطبقة الجيلاتينية هي في نفس الوقت حافظة للحرارة مما يجعل الطاقة المشعة من الجنين أقل من الطاقة التي استقبلها هذا

الجنين، تلك الظاهرة الطبيعية واضحة لكل أنسان يدخل السيارة الواقفة في الشمس لبعض الوقت ونوافذها مغلقة .

وتعمل الطبقة السطحية العلوية للبيضة المخضبة كذلك كحماية لونية، إذ يصعب تمييز البيضة من أعلى عن قاع المستنقع المائي الغامق المحيط بالبيضة، كما يتشابه السطح السفلي الفاتح للبيضة مع لون السماء إذا ما شوهدت تلك البيضة من أسفل .

ويتم إخصاب بيض الزواحف في القنوات التناسلية للأنثى، ثم تحاط البيضة أثناء نزولها من قناة المبيض بقشرة غير منفذة للماء، هذا يجعل الجنين محاط بمنطقة رطبة بعد وضع البيضة . وفي أغلب الأنواع يدفن البيض في أماكن دافئة ثم تهجره الأم، وعند فقس البيضة المملوءة بكمية كافية من المح يخرج حيوان صغير يشبه الأبوين تماما ومعتمدا على نفسه .

وفي زواحف أخرى، كـ بعض أنواع الثعابين، يحفظ البيض داخل جسم الأم الى أن يفقس، وتكون تغذية الجنين في هذه الأثناء أساسا عن طريق المح وليس عن طريق أنسجة الأم .

وبعد أن ظهرت الزواحف على سطح الأرض بقليل، رجعت ثانية بعض الأنواع الى المعيشة في بيئة مائية، اليوم نجد أن نوعا واحدا من السحالي (إجوانا المائية) وبعض الثعابين والسلاحف والتناسيح المختلفة تقضي معظم حياتها في الماء . وعموما فالأنواع المائية السابق ذكرها لا بد لها من العودة لليابسة لوضع البيض .

وتضع السلاحف المساه (Loggerhead) نحو ٤٠٠ بيضة في الموسم الواحد ولو أن هذا البيض يترك بدون رعاية الأبوين، لكن نسبة الوفاة في الصغار الفاقسة قليلة جدا مما يحفظ التعداد الأصلي للسلاحف على ما هو عليه . وتعتبر بعض الزواحف من أكبر الحيوانات المعمرة على وجه الأرض، مما يتيح لأنثى سلاحف معمرة الحفاظ على تعداد النوع .

ويمكن للطيور كذلك المعيشة في أماكن جافة . وكما في زواحف كثيرة (والتي نشأت منها) تضع الطيور بيضا ذو قشرة . وكثيرا ما يعتني الأبوان بالبيض الغني بالملح والذي عند فقسه يخرج الطير الصغير حاملا أغلب صفات الكبار، تستمر الأباء في رعاية

صغارها الى أن تستطيع الأخيرة العناية بأنفسها. ونادرا ما تضع الطيور أكثر من ٢٠ بيضة في الموسم الواحد والمتوسط في الغالب هو أقرب الى الأربعة بيضات. وإحاطة البيضة بقشرة تناسب ظروف معيشة جنين الطيور والزواحف لتنمو بعيدا عن الماء. والفحص القريب لبيضة طائر، لتكن بيضة دجاجة مثلا، يوضح سبب ذلك. فالبيضة نفسها تتكون من كمية كبيرة من الملح وجزء صغير جدا من السيتوبلازم. وبعد الإخصاب، ما زالت البيضة داخل قنوات مبيض الأم، تحاط البيضة بطبقات من الألبومين المائي (تسمى بياض البيضة Egg-white) وقشرة من كربونات الكالسيوم. والقشرة المذكورة منفذة للغازات ولكنها عمليا غير منفذة للماء. وبنمو الجنين من الزيجوت تتكون أربعة أغشية خاصة (الشكل ١٧-٨)، تبقى تلك الأغشية المتكونة والتي نشأت من الجنين كجزء منه ولكن فقط أثناء وجوده داخل البيضة، الأغشية الأربعة هي :

- ١ - **محفظة الملح (Yolk Sac)** وهي التي تحيط بالملح وتصل الجنين بمصدر غذائه الرئيسي، الملح عبارة عن بروتينات وبروتينات - دهنية.
- ٢ - **الأمنيون (Amnion)** وينمو حول الجنين يحيط به في فراغ مملوء بالسائل.
- ٣ - **الكوريون (Chorion)** والذي يطن قشرة البيضة من الداخل ويساعد على تبادل الغازات (أ٢ ، ك أ٢) بين الجنين والهواء الخارجي.
- ٤ - **الكيس البولي (Allantois)** والذي يعمل كمخزن لفضلات التمثيل الغذائي (أساسا حمض اليوريك) التي يفرزها الجنين أثناء النمو. وباستمرارية هذا الكيس البولي في الكبر في الحجم فهو أيضا يساعد في عملية تبادل الغازات.

شكل ١٧-٨. أغشية الكتكوت الناشئ الجنينية. لاحظ أن محفظة الملح والألاتوز نموات خارجية من القنصة الهضمية للجنين. تنتج نفس الأغشية في أجنة الزواحف والثدييات.



وبتلك الأغلفة الأربعة يمكن للجنين النامي أن يؤدي جميع عمليات التمثيل الغذائي وهو داخل البيضة، كما أن إحاطة الجنين بالسائل الأمنيوتي يحفظه رطباً كما يحفظ جنين السمك في البركة المائية.

وتنشأ تلك الأغشية الأربعة في أجنة الطيور والزواحف والثدييات. وعلى العموم ففي الثدييات، بخلاف الأكيديناس النادر (Echidnas) وكذلك الحيوان المسمى (Duckbill) (الشكل ١٧-٩)، لا يوجد للبيضة قشرة خارجية (Shell). ويبقى بيض الثدييات الفقير في الملح داخل القنوات التناسلية بعد الإخصاب، تحترق الأغشية الجنينية جدر رحم تلك الثدييات، بعد نفاذ كمية الغذاء القليلة الموجودة في البيضة يستمر إمداد الجنين داخل البيضة عن طريق الجهاز الدوري للأم.

وفي الحيوانات المعروفة بأسم مارسوبالز (Marsupials) ( والمعروف منها فقط الحيوانات التابعة لجنس *Opossum* في أمريكا الشمالية) تؤدي محفظة الملح الوظيفة الغذائية السابق ذكرها ولكن لفترة محدودة. لذلك فإن صغار هذه الحيوانات تولد في حالة بدائية من النضج (الشكل ١٧ - ١٠) ولكنها تستطيع الزحف في جيب خاص موجود على بطن الأم حيث تتغذى على لبن الأم من حلمات مزودة بغدد ثديية إلى أن تنمو تلك الصغار وتصبح قادرة على تغذية نفسها بنفسها.

وفي جميع الثدييات الأخرى تكون تلك الأغشية الجنينية ما يسمى بالمشيمة (Placenta) وحبل سري (Umbilical cord) تصل الجنين برحم الأم بطريقة



شكل ١٧-٩. الثدييات التي تضع البيض. حيوان Duckbill (Platyypus) - إلى اليسار - يري صغاره في العش، وأكل النمل الشوكي - إلى اليمين يضع صغاره في جيب على بطنه (بتصريح من هيئة الاستعلامات الأسترالية).



شكل ١٧-١٠. Opos-  
sums حديثو الولادة. ١٨  
منها يمكن وضعها في ملعقة  
شاي بسهولة. (بتصريح من  
دكتور كارل ج. هارتمان).

فعالة ويستمر توارد دم الجنين مع دم المشيمة. وبالرغم من إتصال الشعيرات الدموية للمشيمة بمشيلاتها في رحم الأم إلا أنه لا يوجد في الحقيقة مزج بين دم الأم ودم الجنين. وتعمل المشيمة كذلك على امتصاص الغذاء والأكسجين من رحم الأم، بالتالي فإن الفضلات الغذائية (مثل اليوريا) وثاني أكسيد الكربون تنتقل إلى الجهاز الدوري للأم لتخرج للخارج عن طريق أجهزة الأخراج في الأم.

وبالرغم من إستمرارية نمو الجنين داخل رحم الأم لمدة طويلة (على خلاف المعروف في حيوان المارسيوبال) فإنه توجد إختلافات واضحة في قدرة المشيمة في الثدييات على القيام بدورها تجاه الجنين الحديث الولادة. وفي كل الحالات لابد من وجود فترة يتغذى فيها المولود على اللبن الذي تفرزه الغدد الثديية في الأم. وفي بعض الأنواع تمتد رعاية المولود لتشمل تدريبه على النمط السلوكي لتلك الأنواع.

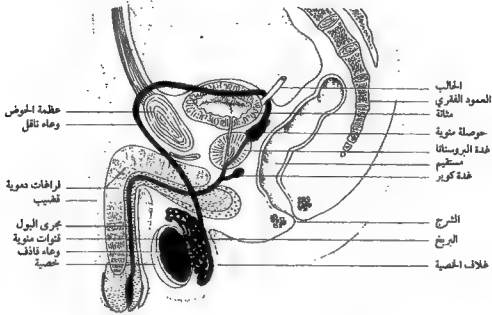
#### HUMAN REPRODUCTION

#### التكاثر في الإنسان:

#### ١٧-٦. أعضاء الذكر التناسلية THE SEX ORGANS OF THE MALE

للجهاز التناسلي في الذكر وظيفتان يقوم بهما: إنتاج الحيوانات المنوية ونقل تلك الحيوانات إلى القنوات التناسلية في الأنثى.

تنتج الحيوانات المنوية في الخصى Testes (الشكل ١٧-١١)، تمتليء الخصية



الشكل ١٧-١١. الأجهزة التناسلية في ذكر الإنسان.

بأنابيب منوية مرتبة بحيث تقابل نهايتها مع بعضها البعض إذ أنها تزيد في الطول عن ٢٠٠ متر. وتتكون جدر هذه الأنابيب من سبرماتوجونيات ثنائية الكروموسومات وهي أماكن تدفق الحيوانات المنوية فيها بعد. وتنقسم خلايا الأسبرماتوجونيات مرتين على التوالي أنقساماً أختزالياً لتتحول إلى حيوانات منوية، وبذلك ينتج عن كل أسبرماتوجونيا أربعة حيوانات منوية (الشكل ١٧-٢).

ويصنع ذكر الإنسان البالغ يومياً أكثر من ١٠٠ مليون حيوان منوي، التي تتحرك بالتدرج داخل الأوعية الناقلة التي تصب فيها أنابيب الخصية، ومن الأوعية الناقلة تذهب الحيوانات المنوية إلى البربخ (Epididymis) وفيه تبلغ الحيوانات المنوية مرحلة أكبر من النضوج ثم تخزن في هذا البربخ. ولا توجد أي خطورة من إجهاد الأسبرماتوجونيات بسبب وفرة إفراز الحيوانات المنوية. وذلك لمقدرة هذه الأسبرماتوجونيات على الانقسام الغير مباشر أيضاً وبذلك يمكنها الحفاظ على إفرازها للأعداد الهائلة من تلك الحيوانات المنوية وتعمل الخصية، بجانب إفرازها للحيوانات المنوية، كغدة صماء تفرز هرمون التستسترون (Testosterone) وهو هرمون الذكر الرئيسي والمستول عن نمو الصفات الذكرية الثانوية مثل اللحي والصوت العميق

والتركيب الرجولي للجسم، كما أن هذا الهرمون ضروري أيضا لأفراز الحيوانات المنوية.

ويصنع هرمون التستسترون في خلايا بينية موجودة بين أنابيب الخصية، الخلايا البينية هذه هي هدف هرمون (Luteinizing hormone- LH) الذي يصنع في الفص الأمامي للغدة النخامية الموجودة عند قاعدة المخ. ويوجد هرمون آخر (FSH) تفرزه أيضا الغدة النخامية وهو يؤثر مباشرة على الأسيرماتوجونيات لتنبيهها لإنتاج الحيوانات المنوية. وجدير بالذكر أن هرمون (LH) هو مشتل مسئولية غير مباشرة عن إنتاج الحيوانات المنوية وذلك لأهمية التستسترون لتلك العملية.

ويتحكم في الغدة النخامية بدورها خلايا عصبية خاصة موجودة في جزء من المخ يسمى هيوثالاماس (Hypothalamus) والذي يصنع هرمونا أو أكثر من الهرمونات المفرزة (Releasing Hormones) وتذهب هذه الهرمونات الأخيرة مباشرة إلى الغدة النخامية عن طريق أوعية دقيقة تصل بينها.

ويفسر لنا وجود تلك الصلة المباشرة بين المخ والهرمونات المرتبطة بالجنس الصلة الوثيقة الموجودة بين النشاط العصبي والسلوك الجنسي. ويتأثر السلوك الجنسي في كثير من ذكور الحيوانات الفقارية بطبيعة الحال بالمؤثرات الخارجية مثل طول اليوم، الروائح التي تفرزها أنثى نفس النوع، مشاهدة الأنثى لمظاهر الغزل التي يؤديها الذكر. وبمسئلة تلك المؤثرات الخارجية الجهاز العصبي، وتكون النهاية تكاثر الحيوان، كما تقوم تلك المؤثرات بأحداث تغييرات فسيولوجية في الأجهزة التناسلية ومنها إفراز هرمون التستسترون. وفي كل تلك التغيرات السابقة تعمل إنزيمات خلايا الهيوثالاماس على إيجاد رابطة بين جميع أجهزة الجهاز العصبي وبين جهاز الغدد الصماء.

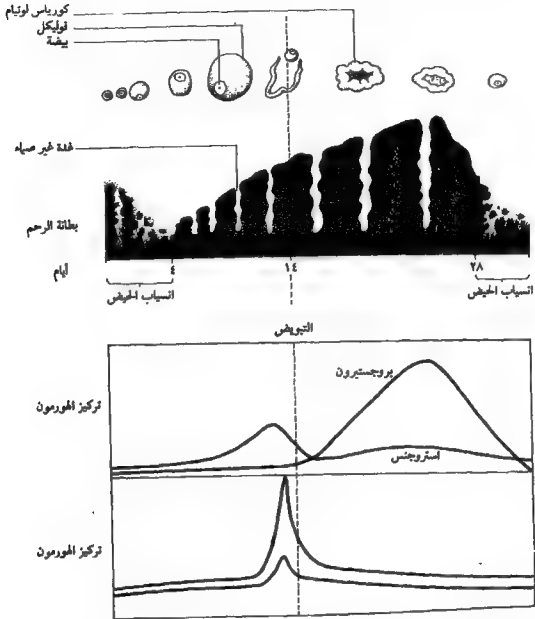
#### ١٧-٧. أجهزة الأنثى التناسلية : THE SEX ORGANS OF THE FEMALE

تعتبر أنثى الفقاريات أهم بكثير من الذكر في إنجاح التكاثر، لذلك فإن فسيولوجيا التكاثر في الأنثى أعقد بكثير عما في الذكر. ولا تصنع الأنثى خلاياها التناسلية (البويض) فقط، بل إنها كذلك مهبة للعمليات التالية :

(١) استقبال الحيوانات المنوية من الذكر،







شكل ١٧-١٣. الأحداث التي تحدث في المبيض (أعلى)، تغيرات في بطانة الرحم (ملون)، تغيرات في مستويات الهرمون في الدم أثناء دورة الحيض.

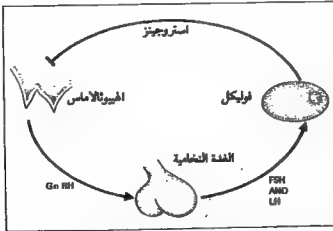
المستولة عن نمو الصفات التناسلية الثانوية في المرأة البالغة مثل توسيع الحوض ونمو الصدر، كما تكبر الأجهزة التناسلية وينمو الشعر حول الفتحات التناسلية الخارجية وتحت أبطاء الأذرع. وينبه الأستروجين كذلك نمو الأنسجة الدهنية مما يعطي الاستدارة المعروفة لجسم المرأة البالغة.

ويستمر إفراز الأستروجين طوال السنوات التي يمكن للأثنى فيها التنازل، تلعب

في تلك الأثناء هرمونات الأستروجنس دورا هاما في تنظيم الدورة الشهرية .  
ويخرج من الرحم (uterus) مرة كل ٢٨ يوما (أحيانا أكثر أو أقل أو حتى على فترات غير منتظمة في المرأة السليمة) كمية صغيرة من الدم وبعض منتجات تمزق الأنسجة .  
وتعرف هذه العملية بالعادة الشهرية (Menstruation) والتي تستمر لمدة ٤-٥ أيام تبدأ في أنثائها فوليكول جديدة في النمو داخل أحد المبيضين . وبعد إنتهاء الدورة الشهرية تستمر الفوليكول في النمو ومنتجة كميات أكثر من الأستروجنس (الشكل ١٧-١٣) .

وتتنبه خلايا الفوليكول لإنتاج هرمونات الأستروجنس بالتأثير المزودج لهرموني (FSH) (وهو الهرمون المنبه للفوليكول) ، (LH) واللدنن يقوم بأفرازهما الغدة النخامية .  
وكما في الذكر فإن إفرازات هرموني (FSH) ، (LH) ينظمها عامل أو عوامل خاصة تفرزها خلايا المنخ في منطقة الهيبوثالاماس . هذا وجود الأستروجنس في الدم في الأنثى (التستسترون في الذكر) يثبط نشاط عامل خلايا الهيبوثالاماس ، بالتالي يقلل من إفراز هرمونات (FSH) ، (LH) من الفص الأمامي للغدة النخامية والتي تعمل بدورها على الإقلال من مستوي الأستروجنس (الشكل ١٧-١٤) .

ويؤثر إرتفاع مستوى الأستروجنس أثناء الدورة الشهرية على تركيب منطقة الأندوميتريام (Endometrium) وهي المنطقة المبطنه للرحم ، فتصبح تلك المنطقة أكثر سمكا (الشكل ١٧-١٣) وأكثر إمدادا بالدم . ويحدث أيضا في وقت الدورة الشهرية



الشكل ١٧-١٤ . طرق التحكم التي تنظم مستويات هرمونات الجنس في الأنثى . ارتفاع مستوي الأستروجين يثبط إفراز نشاط الفص في الهيبوثالاماس (قضيبي) . وهذا يؤدي في النهاية إلى هبوط في مستوي الأستروجين وبالتالي إلى

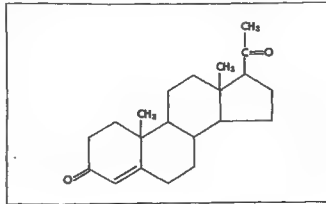
تجديد نشاط الهيبوثالاماس . توجد طريقة مماثلة في الذكور . فعامل إفراز انتاج (FSH) ، (LH) يسمى أيضا هورمون مفرز للجوتادوترويين (Gn RH)

عدة تغيرات رئيسية في داخل الفوليكل . وتحت تأثير هرمون (LH) تتم البيضة النامية أنقسامها الأختزالي (والذي تم التنبيه له منذ سنوات عدة سابقة) . وعلى العكس من إنتاج الحيوانات المنوية عن طريق الأنقسام الأختزالي، فإن سيتوبلازم البيضة النامية لا ينقسم بالتساوي، بل إن إحدى الخليتين الناتجتين من هذا الأنقسام الأختزالي تكون صغيرة (الجسم القطبي الشكل ١٧-١٤) وتلقى عددا أكثر قليلا من أحد مجموعات الكروموسومات .

وبعد نحو الأسبوعين من حدوث الدورة الشهرية يحدث التبويض (Ovulation). فالاستجابة الفجائية لهرمون (LH) (الشكل ١٧-١٣) تتميزق الفوليكل وتقذف البيضة الناضجة الثنائية الكروموسومات، ثم تقذف بعد ذلك نفس البيضة الى الطرف النهائي المفتوح من قناة فالوب (الشكل ١٧-١٢) وتبدأ تلك البيضة في التحرك ببطء لأسفل الأنبوية .

وبمجرد الانتهاء من طرد البيضة تكون وظيفة الفوليكل قد أكملت . وبتنبيهها بالهرمون (LH) تتحول الفوليكل الى كورپاس لوتيام (Corpus Luteum) والتي تعتبر كذلك غدة صماء تفرزهرمون البروجسترون (الشكل ١٧-١٥) . ولدة عشرة أيام بعد التبويض تستمر مستويات الدم المرتفعة من البروجسترون في تهيئة الرحم لأمكانية الحمل كما تمنع انقباض الرحم وتمنع كذلك نمو أي فوليكول جديدة .

وإذا لم يحدث الإخصاب (وهي الحالة الغالب حدوثها) فإن إنتاج البروجسترون يبدأ في الهبوط ويكون ذلك في حوالي اليوم السادس والعشرين من الدورة الشهرية، تضمحل الكورپاس لوتيام ويبدأ الغلاف الدائلي للرحم في التمزق، في اليوم الثامن



شكل ١٥-١٧  
بروجسترون، أحد  
هرمونات الأنثى الجنسية.  
مثل جميع الأستيرويدات  
يتكون من هيكل مكون من  
١٧ ذرة كربون (ملونة).

والعشرين يبدأ نزول دم العادة الشهرية ثانية ويتسبب انقطاع وجود هرمون البروجسترون في ظهور تقلصات الرحم (وهو ما يظهر في اليوم الأول أو الثاني عند بدء ظهور الدورة الشهرية)، كما تبدأ الفوليكل في النمو الثانية.

ويستمر حدوث الدورة الشهرية لمدة سنين، ولكن بالتدريج، عادة ما بين سن ٤٢، ٥٢ من العمر، تقل استجابة الفوليكل لهرمونات (FSH)، (LH) وتبدأ الفوليكل في التقليل من إفرازاتها من الأستروجين، تصبح عمليتا التبويض والدورة الشهرية غير منتظمين حتى تتوقفان تماماً. ويطلق على توقف عملية الدورة الشهرية مسن اليأس Menopause.

ويهبوط مستوي الأستروجنس الى عشر أو أقل من مستواه السابق تخرج الهيبوثالاماس من دائرة التأثير بالأستروجنس (الشكل ١٧-١٤)، نتيجة لذلك فهي تنب الغدة النخامية لزيادة نشاطها وبذلك يرتفع تركيز هرمونات (FSH)، (LH) في الدم الى عشرة أضعاف أو أكثر من تركيزها السابق.

ومحدث الشيء نفسه في الرجل المسن، إذ يصحب ارتفاع هرمونات (FSH)، (LH) في الدم انخفاض إنتاج التستسترون، ولكن يكون هذا الانتقال تدريجياً في الذكور.

## ٨-١٧. التزاوج والأخصاب:

### COPULATION AND FERTILIZATION

لضمان حدوث الأخصاب لابد من وضع الحيوان المنوي داخل المهبل قرب وقت حدوث التبويض. ويحدث نقل الحيوان المنوي للأُنثى أثناء عملية التلقيح (التزاوج). وكتيجة للهِياج الجنسي تتمدد الشعيرات التي تنقل الدم إلى القضيب، ويتجمع هذا الدم في ثلاثة فراغات أسطوانية اسفنجية تسير موازية لبعضها البعض بطول القضيب، ويسبب الضغط الناشيء عن ذلك كبر القضيب وانتصابه وبذلك يستطيع أن يخترق المهبل وتسبب حركة القضيب ذهاباً وإياباً داخل المهبل في إزدياد التوتر الجنسي لدرجة حدوث القذف، كما ينتج عن إنقباض جدر قنوات الخصية دفع الحيوانات المنوية الى الوعاء الناقل. يضاف السائل للحيوانات المنوية من الحويصلات المنوية (Seminal vesicles) ومن غدة البروستاتا (Prostrate gland)

(الشكل ١٧-١١). والسائل المذكور ما هو إلا منيع للطاقة (الفركتون) وربما بطريقة أخرى إيجاد الوسط الكيميائي اللازم للحيوَان المنوي. ويطلق على الحيوانات المنوية والسائل المذكور بالسائل المنوي (Semen) الذي يمر من القناة البولية ويدخل المهبل.

وتحدث تغيرات فسيولوجية في كلا الذكر والأنثى نتيجة الهياج الجنسي ولو أن تلك التغيرات غير ظاهرة. وعلى العكس من الذكر، فإن الاستجابة للهياج الجنسي في الأنثى ليست من لوازم حدوث التلقيح والأخصاب.

وبمجرد وضع الحيوانات المنوية داخل المهبل، فإنها تأخذ طريقها خلال الرحم ثم إلى قنوات المبيض (والمسماة بقنوات فالوب في الإنسان) حيث يحدث الأخصاب إذا وجدت بيضة ناضجة.

ولو أنه في استطاعة الحيوانات المنوية السباحة عدة ملليمترات في كل ثانية، فإن رحلتها إلى قنوات فالوب تساعدها التقلصات العضلية لجدار الرحم وجدر قنوات فالوب نفسها. وعموما فيمكن للحيوانات المنوية الوصول إلى البيضة في خلال ١٥ دقيقة بعد عملية القذف، كما يموت الكثير من تلك الحيوانات أثناء هذه الرحلة. وجليد بالذكر أن القذفة الواحدة تحتوي على عدة مئات الملايين من الحيوانات المنوية ولكن لا يتم منها الرحلة إلا آلاف قليلة فقط، من هذه الآلاف ينجح حيوان منوي واحد فقط في دخول البيضة لأخصابها (الشكل ١٧-١٦).

## ١٧-٩. الحمل والولادة: PREGNANCY AND BIRTH

يبدأ النمو الجنيني بالفعل والبيضة المخصبة مازالت داخل قناة فالوب. ويستمر الجنين النامي في النزول داخل القناة ويصل إلى الرحم في خلال يومين أو ثلاثة. ونتيجة للإنقسام المستمر الغير مباشر تتكون كرة مجوفة من الخلايا تسمى بلاستوسيسيت (Blastocyst) (الشكل ١٧-١٧)، بعد نحو أسبوع من الأخصاب تغرز البلاستوسيسيت نفسها في جدار الرحم السميكة في عملية يطلق عليها أسم الزرع (Implantation)، بأنتهاء عملية الزرع بنجاح تثبت عملية الحمل.

ويستمر نمو البلاستوسيسيت بأنقسام سريع للخلايا مع حدوث هجرة لبعض



شكل ١٧-١٦. لحظة الخصاب بيضة قنفذ البحر (Sea Urchin) كما ترى تحت الميكروسكوب الأليكتروني (المساح) . (بتصريح من دكتور دون و. فاوست).

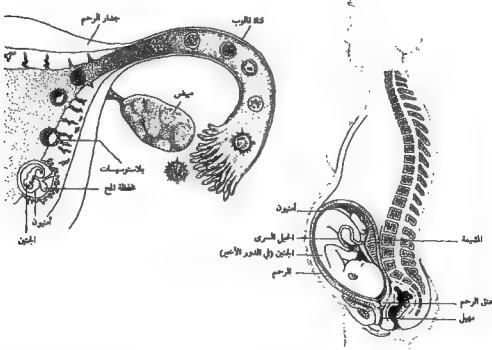
الخلايا من مكان الى آخر داخل الجنين النامي . وكنتيجة لذلك ينشأ قسمان رئيسيان من الخلايا والأنسجة وهما :

- (١) الجنين نفسه والذي سيصبح فيما بعد الطفل ،
- (٢) الأغشية الجنينية الإضافية والتي ستلعب دورا هاما في العملية ولكنها ستزول فيما بعد وقت الولادة (الشكل ١٧-١٧) . وتتكون تلك الأغشية الجنينية الإضافية من الأمينون (Amnion) والمشيمة (Placenta) والحبل السري (Umbilical Cord) والأمينون ما هو الا عبارة عن حافظة (Sac) تحيط بالجنين وتملا بالسائل الأمنيوتي، تنمو المشيمة بالاتصال مع جدار الرحم و أوعيته الدموية التي يجري فيها دم الطفل النامي وتكون محاطة بدم الأم في الرحم . وبالرغم من عدم وجود أي خلط أو مزج بين دم الأم ودم الطفل إلا أنه في استطاعة المشيمة القيام بعملية نقل عدة مواد بين الأم والطفل . ويمكن القول بأن المشيمة تقوم بعملية أمعاء الطفل (استقبال الغذاء) ، الرئة (استقبال الأوكسجين وطرد ثاني أكسيد الكربون) ، الكلية (طرد اليوريا) ، يمكن أيضا

لبعض البروتينات مثل الأجسام المضادة في الأم عبور المشيمة. هذا ويصل الحبل السري الجنين النامي بالمشيمة.

ويتم تكوين التركيب الأساسي للطفل أثناء شهري الحمل الأولين، يشمل هذا انقسام الخلايا، هجرة الخلايا، نمو الخلايا الى أشكالها الموجودة في العضو البالغ (على سبيل المثال الخلايا الدموية والخلايا العصبية وغيرها). ويطلق على الكائن النامي في تلك الفترة بالجنين (Embryo) ويكون حساسا للغاية لأية تدخلات تعوق حدوث العمليات المذكورة سابقا. فأصابة الأم مثلا بأي مرض فيروسي مثل الحصبة الألمانية أو تعرضها لأية مواد كيميائية قد يصيب الجنين بتشوهات خلقية. وتسبب تناول النساء الأوروبيات الحاصلات لدواء يسمى ثاليدومايد (Thalidomide) بين عامي ١٩٥٤، ١٩٦٢ في ولادة عدة آلاف من الأطفال المشوهين.

وبعد نحو الشهرين، تكون جميع أجهزة الطفل قد تكونت ولكن في صورة أثرية.



الشكل ١٧-١٧. يسار: أطوار في النشوء المبكر، زراعة الجنين. عطفة المع والأمنون هي أغشية خارج جنينية. يمين: طفل قرب الولادة.

ومن الآن فصاعداً فإن نمو الفيتس (Fetus) حيث يسمى الجنين الآن، يحدث بصورة تدريجية مع حدوث بعض التعديلات الطفيفة، تكون حساسية الجنين الآن للعوامل الضارة الخارجية المتسببة عن الأم أقل بكثير.

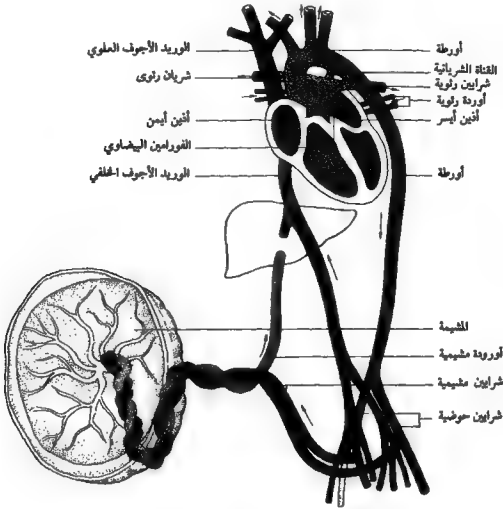
ويؤثر حدوث الحمل في الدورة الشهرية، فمجرد زرع أي غرس الجنين نفسه في جدار الرحم تمتنع عملية إندثار الكورياس لوتينام والتي تحدث عادة قرب نهاية الأسبوع الرابع للدورة، نتيجة لذلك يستمر إفراز البروجسترون. وعموماً إذا توقف إفراز هذا البروجسترون أثناء الأشهر الخمسة الأولى من أشهر الحمل بواسطة الكورياس لوتيم (وذلك بسبب إزالة المبيض نتيجة عملية جراحية) يبدأ الرحم فوراً في الانقباض وينزل الجنين ناقص النمو (أي تحدث عمية سقاطة Abortion) وتكون الكورياس لوتيم عندئذ عاجزة عن العمل، ولكن تقوم المشيمة نفسها بإفراز هرمون البروجسترون مما يجعل الحمل مستمراً حتى آخر مدته العادية.

وللمشيمة فوائد أخرى كغدة صماء، ف بجانب إفرازها للبروجسترون، فإنها تفرز هرمون الأستروجنس (Estrogens) وهرمون آخر يشابه الهرمونات المنبهة للأجهزة التناسلية وهي (LH, FSH) والتي تفرزها الغدة النخامية. وجدير بالذكر هنا أن إفراز (FSH) و (LH) يتوقف تماماً أثناء الحمل وهذا بدوره يوقف نمو فوليكلز (Follicles) جديدة أثناء هذه الفترة.

وانتهاء إفراز المشيمة للبروجسترين يزيح العائق المتسبب في إيقاف الرحم عن الانقباض أثناء فترة الحمل، كما تظهر في هذا الوقت أيضاً لأول مرة هرمونات أخرى تسبب انقباضات شديدة في الرحم، أحد هذه الهرمونات هو هرمون الأوكسيتوسين (Oxytocin) الذي تقوم بصنعة خلايا الميونيالاماس في المخ ويزج الى الدم من الفص الخلفي للغدة النخامية. وتوجد أيضاً عدد من المواد المشابهة تسمى بروتاجلاندينز (Prostaglandins) (تم اكتشافها في أول الأمر في السائل المنوي) تظهر في دم الأم وفي السائل الأمنيوتي أثناء وقت الولادة. وتسبب مواد البروتاجلاندينز، مثل الأوكسيتوسين، انقباض الرحم بشدة وعندئذ تبدأ عملية الولادة.

وأول نتائج عملية الوضع هو فتح عنق الرحم (Cervix)، بالانقباضات القوية والمستمرة ينفجر الأمنيون ويخرج السائل الأمنيوي للخارج من فتحة المهبل، في هذا





الشكل ١٧-١٨. الدورة الدموية في جنين انسان. يلتقط الأوكسجين عند المشيمة وليس عند الرئتين. أغلب الدم يتخطى الرئتين بمروره خلال الـ Foramen ovale والثقب الشرياني.

الوقت بالذات يكون الحبل السري مشدوداً، تتمدد رئتا الطفل وتبدأ في التنفس (قد تحتاجان لمساعدة أحياناً)، يتوقف تدفق الدم عن طريق الحبل السري ويبدأ دم الطفل في التدفق عن طريق القلب والأورطة والشرايين الرئة (الشكل ١٧-١٨)، وبعد نزول الطفل يقليل ينفصل الحبل السري والمشيمة.

وفي خلال يومين أو ثلاثة بعد الولادة، يبدأ ثدى الأم في إفراز اللبن، ويتطلب هذا أيضاً التعاون بين المنبه الهرموني والمنبه العصبي. ويؤدي التنبيه التسبب عن رعاية الطفل الذي يعمل عن طريق خلايا الهيويثالاماس الى إفراز العديد من الهرمونات

(ومنها الأوكسيتوسين) الضرورية لتصنيع اللبن وإفرازه .

## ١٧-١٠ . هندسة التكاثر : أفاقها :

### REPRODUCTIVE ENGINEERING : THE PROSPECTS

مهد التقدم السريع في فهم فسيولوجية التكاثر عند الإنسان الطريق لممارسة طريقة التكاثر بطرق لم تخاطر على البال من قبل .

فأحد طرق التقدم التكنولوجي الذي يمارس حالياً بالفعل هو القدرة على تجميد وحفظ السائل المنوي للإنسان لاستخدامه مستقبلاً ، وفيما بعد (ربما بعد عدة عشرات من السنين) يمكن إدخال هذا السائل المنوي الى داخل القنوات التناسلية للأنثى . ونشأت هذه الطريقة أول الأمر كوسيلة ميسرة لتلقيح الأبقار في أي مكان في العالم بالسائل المنوي للثيران الممتازة مما يسرع في إنتاج سلالات جديدة من الماشية ، والآن تستخدم نفس الوسيلة مع الإنسان . ولقد تكونت بالفعل عدة بنوك لحفظ الحيوانات المنوية في الولايات المتحدة الأمريكية ، لو أن الحيوانات المنوية المحفوظة بهذه الطريقة ليست في الحالة الجيدة التي يمكن أن تكون عليها الحيوانات الطازجة (يلزم من الحيوانات المحفوظة ١٤ حقنة في المتوسط لأحداث الحمل في المرأة) إلا أنه أمكن الآن إنتاج طفل باستخدام الحيوانات المنوية المحفوظة لرجل توفي بالفعل أو حتى بعد عقمه أو ماذا يمنع أن يكون مثل هذا الرجل أباً لعدة أطفال تنجبها عدة نساء .

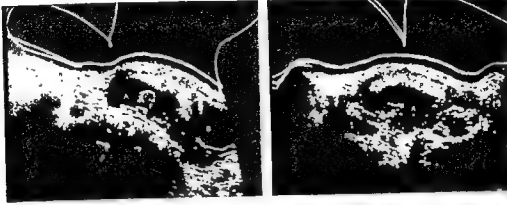
وأمكن للعلماء والبيطريين الآن منذ عدة سنين نقل أجنة من الإناث التي أنجبها الى أمهات حاضنة تحملها حتى الولادة . ويحدث ذلك الآن بطريقة روتينية في الفئران والأرانب والماشية . وفي الحقيقة فلقد أمكن بنجاح زرع أجنة فئران في أمهات حاضنة بعد تجميد تلك الأجنة وتخزينها لمدة تزيد عن الأسبوع .

وفي عام ١٩٦٩ أمكن للعالم ر. ج. ادواردز (R. G. Edwards) ومساعدية في جامعة كامبردج بأنجلترا نزع بيضة الإنسان من خلايا الفوليكل (أي قبل التبويض Ovulation) وإخصابها معملياً ثم تركها تنمو (معملياً أيضاً) حتى طور البلاستوسيت الجنيني . والخطوة التالية المعقولة الممكن تجربتها بعد ذلك هي معرفة إن كان من الممكن

الجنين في هذا الطور المبكر من النمو أن يوضع في رحم ويملكه زرع نفسه في جدار هذا الرحم الذي يحملته حتى الولادة . ولقد نجح إدواردز ومساعدوه في ذلك عام ١٩٧٧ ، إذ أمكن انتزاع بيضة الانسان من فوليكول إحدى الأمهات وإخصابها معمليا وترك كل بيضة تنمو في كتلة من الخلايا ، امكنهم بعد ذلك زرع إحدى هذه البويضات في رحم الأم التي أخذت منها تلك البويضة وتم بنجاح ولادة طفلة في يوم ٢٥ يوليو ١٩٧٨ من هذه الأم ، كانت تلك الطفلة أول سلسلة من الأطفال تم إخصاب بويضاتهم خارجيا ، بذلك تسمح الطريقة المذكورة للأمهات الحاملات لأتانيب فالوب مقفلة أن يحملن أنفسهن بأطفالهن . وعموما سهلت الطريقة المذكورة للأمهات الغير قادرات أو الغير راغبات في الحمل من زرع جنينها في رحم أم أخرى حاضنة (Foster) وبذلك يمكن للأبوين الحصول على أطفال يحملون صفاتها الوراثية .

هذا وتمكننا أيضا القدرة على حفظ أجنة مبكرة في بيئة صناعية لمدة قصيرة من تحديد جنس الجنين قبل زراعته ، إذ أمكن فصل عدة خلايا واختبارها لمعرفة وجود كروموسوم الذكر Y أو جسم العقم (Barr Body) (أنظر الفقرة ١١-١٣) ، وهذه الطريقة يمكن زراعة الجنين المرغوب فيه فقط ، ولقد نجحت هذه الطريقة في الأرانب . وإذا ما أجريت هذه الطريقة في الإنسان ، على سبيل المثال ، فأنها تمكن حاملي خاصية الرابطة X (مثل مرض الهيموفيليا) من الاختيار لتفادي المخاطرة في الحصول على ابن مصاب .

وفي حقيقة الأمر ، أمكن الآن معرفة التكوين الوراثي للجنين ، إذ أن الجنين أثناء نموه يطرد بعض خلاياه الى السائل الأمنيوتي ، بدون صعوبة كبيرة يمكن أخذ بعضا من هذا السائل الأمنيوتي (بطريقة تعرف باسم أمنيوسنتيزس (Amniocentesis) (الشكل ١٧-١٩) وفصل الخلايا المذكورة من السائل الأمنيوتي وزراعتها في بيئة صناعية ويفحصها بواسطة الطبيب المختص يمكن لهذا الطبيب البحث عن التشوهات الكروموسومية (مثل الثلاثة كروموسومات رقم ٢١ لسندروم داون Down's Syndrome) والبحث أيضا عن بعض الانحرافات الأنزيمية التي يسببها ظهور الطفرات (مثل عدم القدرة على القيام بعملية التمثيل الغذائي للجلوكوز أي تكوين اللبن) ، البحث كذلك بطبيعة الحال عن جنس الجنين . والآن يمكن تشخيص نحو ١٠٠ تشوه وراثي عن طريق عملية الأمنيوسنتيزس هذه ، بذلك يمكن انهاء الحمل إذا ما وجدت هذه التشوهات .



شكل ١٧-١٩. استخدام فوق الصوت لتحديد موقع المشيمة قبل الفراز سائل الأمنيون ويمكن أحداث هذه السونوجرامز بتسجيل الأصداء التي تستقبل من التركيبات الموجودة في البطن. (A) الفراغ الأمنيوتي، (B) المشانة البولية، (F) جزء من الجنين، (A) المشيمة. كلا الطولي (يسار) والعرضي (يمين) من قطاعات الاسكانتج نحتاج اليها لمعرفة موقع المشيمة بدقة. (بتصريح من مركز داون ستيت الطبي بجامعة ولاية نيويورك).

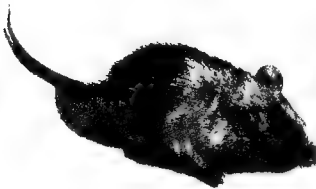
ولو أن حدوثه غير عملي بالنسبة للإنسان، إلا أن حلم العلماء هو إنتاج طفل له أربعة آباء. ولقد تمكن العلماء بالفعل منذ عدة سنوات من الوصول إلى إنتاج فئران لها أربعة آباء وأمكن حدوث ذلك بأخذ الأجنة في دور الثنائي خلايا من النمو من أبوين من فئران مختلفين حاملين وتربية تلك الأجنة في بيئة صناعية، فإذا دفعت إحدى تلك البويضات لتصلطم ببويضة أخرى مجاورة لها في البيئة الصناعية فإنها تلتحم معها في جنين واحد. وبعد فترة أخرى من النمو يزرع هذا الجنين المتحد في أم حاضنة ويترك للنمو نموا طبيعيا بعد ذلك. وتنشأ بعض خلايا كل عضو في هذا الجنين المبرقش أو الموزايكي (Mosaic) (انظر فقرة ١١-٣) من زوج من الآباء والبعض الآخر من الزوج الآخر من الآباء (الشكل ١٧-٢٠) ولقد أثبت هذا الفأر الرباعي الآباء أهمية كبرى في دراسة العديد من المشكلات الحيوية الهامة.

ويوجد احتمال مستقبلي في السنين القادمة في إيجاد طريقة تمكن الإنسان من التكاثر لاجنسيا (Asexually). فإذا أمكن حدوث ذلك فيمكننا خلق مجاميع متماثلة (Clones) تشتمل على أفراد متماثلة وراثيا تماما، كما فعلنا مع تفاح الماكنتوش (انظر فقرة ١٦-١٠). وفي الوقت الحاضر، فيما عدا القليل من الحيوانات الواطئة مثل بعض الديدان، لا يمكن لأي نسيج حيواني منزوع أن ينمو لتكوين كائنات جديدة بالطريقة

التي يمكن بها لفرع من أفرع شجرة تفاح مثلا أن ينمو ويكون شجرة أو شجيرات جديدة (الشكل ١٦-١٥). والبويضة المخصبة فقط في الحيوان هي حتى وقتنا هذا القادرة على النمو لتصبح حيوانا كاملا، كما رأينا من قبل تنتج البويضات المخصبة من التكاثر الجنسي. لذلك فإن تلك الحيوانات تحصل على جيناتها من أبوين، وكل من هذين الأبوين قد أعاد ترتيب مجاميع جيناته المزدوجة أثناء الانقسام الاختزالي. وعلى هذا فإن الحيوانات بل الأخوة والأخوات - تختلف وراثيا، إلا في بعض الحالات النادرة التي يفصل فيها جينين واحد الى جزئين أو أكثر والتي تستمر في النمو مكونة توائم أو ثلاثيات، الخ، وهذه كلها تكون أفرعا حيوانية جديدة.

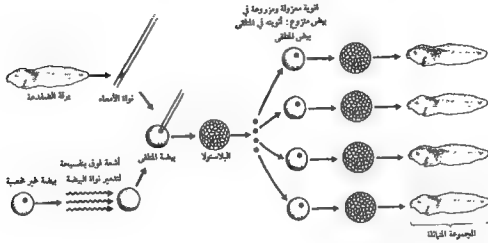
ويمكن إجراء تلك العملية الآن في المعمل، فمنذ عدة سنوات أمكن للعالم بوفيري (Boveri) أن يفصل نواه إحدى بويضات قنفذ البحر (Sea Urchin) وتنميتها تبعا للجنينات المنزوعة بداخلها من نواه أخرى (انظر فيما سبق الشكل ٥-٩). والطريقة الوحيدة التي أمكن للعالم بوفيري بها أن يدخل النواه الجديدة هي استغلاله للخواص الطبيعية المخصبة للحيوان المنوي، هذه ولو أنها ناشئة عن الانقسام الاختزالي فإنها تختلف وراثيا مع أنها ناتجة من فرد واحد.

ولكن ماذا يحدث لو أمكن جمع أنوية ناشئة عن أنقسام غير مباشر، وتكون كلها بذلك موحدة وراثيا، وضع تلك الأنوية في بويضات نزع أنويتها من قبل، كل نواه



شكل ١٧-٢٠. فأر رياحي والوالدين، لهذا الفأر أبوين وأمين (سدون ضم الحاضنة التي ولدته). أحد أزواج والوالدين كان أسودا، والزوج الثاني كان أبيضاً. جلدته وكذلك باقي الأعضاء خليط من الخلايا من الأبوين السود وخلايا من الأبوين البعوض. ويسمى مثل هذا الحيوان موزايك وراثيا.

لاحظ أن هذا الفأر ليس مثل المجهين F1 الناتج من تزاوج فأر أبيض مع فأر أسود. في مثل هذه الحالة، تكون كل الخلايا من نفس الطراز الجيني (والقروء الخارجية للفأر تكون كلها بنية). (الصورة - والفأر - بتصريح من دكتور توماس ج. وييمان).



الشكل ١٧-٢١. طريقة زرع الأنوية. تسحب نواه من خلية واحدة (في هذه الحالة في الأمعاء) وتزرع في بيضة تم اتلاف نواتها بالأضعة. وبعد حدوث الانقسام الغير مباشر في البيضة في كتلة من الخلايا المشابهة وراثيا (البلاستولا). يمكن تكرار العملية بسهولة بهذه الخلايا كمنبع للأنوية. وبهذه الطريقة يمكن إنتاج مجموعة متماثلة (Clone) من الحيوانات.

في بويضة؟ لقد أمكن حدوث ذلك لأول مرة في بيض البرمائيات. وكان الهدف الأساسي من تلك التجارب اختبار قدرة أنوية الخلايا الجسمية على توجيه نمو البويضات. وطرق ونتائج تلك التجارب سيتم شرحها في الباب التالي (أنظر الجزء ٥ من الفقرة ١٨-٥ والشكل ١٨-١٠). وإذا حقن الإنسان مجموعة من البويضات المنزوع منها أنويتها بأنوية أخرى مأخوذة من فرد واحد، فكل حيوان ناتج يشابه تماما باقي الحيوانات، ويمكن بذلك إنتاج مجموعة متماثلة وراثيا (Clone) (الشكل ١٧-٢١).

ونظرا لصغر حجم بويضات الثدييات بكثير عن حجم بويضات البرمائيات، فإنه من الصعب جدا إجراء اختبارات نقل الأنوية فيها. ومع ذلك فقد ذكر المنزي، هوب (Illmensee & Hoppe) عام ١٩٧٩ أنها (بعد الفشل ٣٦٣ مرة) أمكنها إنتاج ثلاثة فئران بطريقة زرع الأنوية (الشكل ١٧-٢٢).

والطريقة التي إتبعهاها تشاهد في الشكل ١٧-٢٣ وكل من الفئران الثلاثة الأولى نتج من زرع نواه من متبرع مختلف. وعموما، أمكن لهذين العالمين فيما بعد إنتاج توائم ثلاثيات (Triplets) متشابهة بعد زرع أنوية من نفس المتبرع في عدة بويضات منزوعة



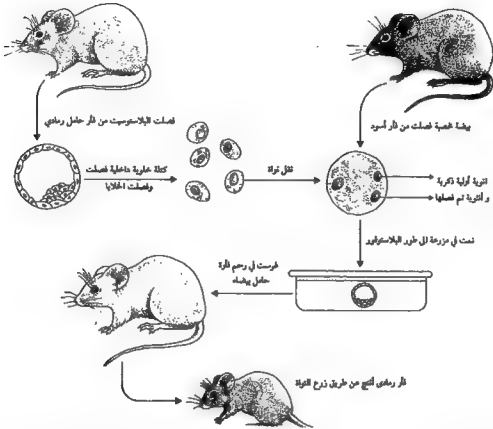
شكل ١٧-٢٢

شكل ١٧-٢٢. ثلاثة فئران أنتجت بواسطة زرع الأنوية باستخدام الطريقة التي ترى في شكل ١٧-٢٣ وهذا العمل المباشر أمكن إجراؤه بواسطة العالم البيولوجي كارل المنسي والعالم بيتر هوب. ولو أن كل من هذه الفئران الثلاثة نما تحت تحكم نواه من متبرع مختلف، ولكن في محاولات لاحقة أنتج

المنسي وهوب عدة فئران من متبرع واحد وبذلك خلقوا كلون حقيقي (بتصريح من بيتر هوب، من الخلية Cell، جزء ٢٣، مطبعة MIT ٩، يناير ١٩٨١).

الأنوية. وبمعنى آخر فلقد أمكنها إنتاج أفراد متماثلة (Clones) من الفئران. ولو أن إنتاج هذه الأفراد المتشابهة من الفئران تعتبر عملية صعبة ودرجة نجاحها قليلة، فلا يوجد سبب نظري يجعلنا نعتقد أن ما نجح في الفئران الآن قد ينجح فيها بعد في الإنسان.

ولا يجب عند مناقشة طرق ممارسة التكاثر في الإنسان تجاهل أهم الطرق جميعها والواسعة الانتشار وهي: الطرق المختلفة التي بها يوقف الزوجان الحمل، من تلك الطرق استخدام حواجز ميكانيكية في طريق مرور الحيوانات المنوية، جهاز IUD الذي يوضع في داخل الرحم والذي يمنع زرع البويضة في جداره، استخدام مستحضرات من الأستروجين - البروجيستيرون (وهي حيوب منع الحمل) والتي توقف التبويض (وسنناقش وظيفة تلك الهرمونات أكثر من ذلك في الباب السابع والعشرين). وأخيرا فإنه يمكن تضادي الحمل بربط قنوات فالوب في الأنثى لمنع إخصاب أي بويضة (الشكل ١٧-٤٨)، مع استمرارية المبايض في أداء وظائفها ومنها دورة الهرمونات العادية. ويمكن في الذكر إجراء عملية خصى وذلك بقطع كل وعاء ناقل قرب قمة الصفن (Scrotum) (الشكل ١٧-١١) ثم ربطه، هي عملية جراحية بسيطة يمكن إجراؤها في عيادة الطبيب تحت تأثير التخدير العادي وذلك في مدة ٣٠ - ٤٠ دقيقة، لا يتعطل النشاط الهرموني للخصى بأي حال من الأحوال، كما لا توقف تلك العملية



الشكل ١٧-٢٣. استخدمت طريقة زرع النواة لإنتاج الفأر في الشكل ١٧-٢٢. (فروة أجنوية Agouti)، وليست فروة رمادية. زود المتبرع النواة المستخدمة في إنتاج الفأر الموجود على الجهة اليمنى في الشكل ١٧-٢٢).

إنتاج الإفرازات الغدية المختلفة والتي تكون المجموع المنوي، بذلك يستمر التلقيح والقذف كالمعتاد.

ولو أنه يبدو أن بعض الأفكار السابق ذكرها قد تعطي نتائج غير عملية فإن الوقت سيأتي في القريب عندما نستطيع أن نستفيد من تلك المعلومات الوراثية التي كان يظن منذ عشرة أو عشرين سنة أنها من المستحيلات.





شكل ١٧-٢٤. ربط  
الأنابيب، بسبب الحاجة إلى  
فتحة في جدار البطن، لا بد  
من إجراء تلك الطريقة تحت  
التخدير. إنها عملية متقنة  
أكثر منها عملية عادية.

#### CHAPTER SUMMARY

#### ملخص الباب

يمكن لبعض أنواع الحيوانات أن تتكاثر لاجنسيا وجنسيا، لكن أغلب الحيوانات تتكاثر جنسيا فقط.

وتنتج الجاميطات بالانقسام الاختزالي من خلايا جرثومية ثنائية الكروموسومات (تسمى اسبرماتوجونيا في الذكر، أو أوجونيا في الأنثى). وبما أن أغلب الحيوانات قادرة على الحركة فأنها تضع بيضها وحيواناتها المنوية قريبة من بعضها البعض لتسهيل عملية الإخصاب. وتختلف الحيوانات كثيرا في درجة مقدرتها على العناية بالبيض بعد إخصابه.

ويحيط الجنين النامي في الزواحف والطيور والثدييات نفسه بأربعة أغشية جنينية إضافية وهي: الكوريون، الأمنيون، الكيس البولي، مخفظة المح. وتحمي تلك الأغشية الجنينية الاضافية الجنين النامي وتزوده كذلك باحتياجاته الغذائية، لكنها لا تضيف أي بناء في تكوين الجنين نفسه.

ويخالف الأنواع القليلة فقط من الثدييات واضعات البيض، فأن بيض الثدييات

يكون عادة صغير الحجم، إذ أن الجنين النامي يعتمد في غذائه على جسم الأم، يمكن تفسير ذلك عن طريق حافظة المح في حيوانات المارسوبيا (Marsupials) والمشيعة والحبل السري في الثدييات الأخرى. وفي كلا الحالتين لا يوجد أي اتصال مباشر بين الدورة الدموية للأم والدورة الدموية للجنين النامي (المسمى عندئذ فيتس Fetus). وبعد الولادة تستمر جميع الثدييات في تناول غذائها من جسم الأم في صورة لبن (Milk).

وتتحكم الهرمونات في نشاط الجهاز التناسلي في أغلب الحيوانات، ففي الإنسان يتم إفراز عوامل مفرزة (Releasing Factors) من خلايا الهيبوثالاماس والتي بدورها تنبه الفص الأمامي للغدة النخامية لأفراز هرموني (FSH) و (LH) ويعمل هرمونا (FSH) و (LH) في الذكر على تنبيه الخصي لتفرز الحيوانات المنوية (الأسبرمات) وهرمون التستستيرون. وفي الأنثى فإن هرموني (FSH) و (LH) ينبهان المبيض لأفراز الهرمونات الجنسية: الأستروجنس والبروجسترون.

وأمكن حديثاً: (١) إخصاب بويضات الإنسان معملياً ثم إعادتها إلى رحم الأم لتكملة نموها الطبيعي حتى الولادة، (٢) تكوين مجموعة متماثلة من الفئران (Clone) المتطابقة وراثياً وذلك بزرع أنوية ناشئة عن أنقسام غير مباشر من متطوع واحد. في بيض فأر نزلت منها أنويتها.

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - يحدث أبقاء البيض المخصب داخل الجسم الأم في الأسماك الغضروفية والزواحف. لماذا تعتقد أن الطيور لم تستخدم تلك الطريقة لحياة بيضها؟
- ٢ - ما الفرق بين الحيوان المنوي والسائل المنوي.
- ٣ - ماهو التشابه الموجود عند تكوين البويضة في الضفدعة وتكوين الجرثومة الكبير في نبات الفاصوليا ؟ وما هي أوجه الفرق بينهما ؟.
- ٤ - ما الفرق بين الأمليكس (Amplexus) والجماع (Copulation) ؟
- ٥ - أين يحدث الإخصاب في : (١) سمك التراوت،  
(ب) سمك القرش، (ج) ملكة النحل،  
(د) الضفدعة، (هـ) الإنسان.

- ٦ - إذا رزقت أسرة بسبعة بنات ويدون أبناء، فما هي الفرص التي تمكنهم من أن يكون المولود القادم إناثاً؟
  - ٧ - ما عدد أنواع الخلايا المنوية (الأسبرمية) التي تفرزها دودة الأسكارس *Ascaris bivalens* (ن = ٢)؟ وكم نوعاً من خلايا البويضات يمكنها إنتاجها؟
  - ٨ - القليل من الحيوانات لها في نفس الفرد الأعضاء التناسلية المذكر والمؤنث، لماذا توجد هذه الظاهرة في أغلب النباتات. هل يمكنك إيجاد توضيح لذلك؟
  - ٩ - إن عدد البيض الذي تنتجه أفراد نوع من الأنواع يتناسب مع مدى العناية التي يعطيها هذا النوع لصغاره أثناء نموها. هل تتفق تلك الظاهرة أيضاً مع كمية الحيوانات المنوية التي يفرزها هذا النوع؟ اشرح ذلك.
  - ١٠ - ما هي الوظائف التي تقوم بها الأجسام المركزية في الأسبرماتوجونيات.
- (أ) في تكوين الحيوان المنوي (الأسبرم)،  
 (ب) في تحول الحيوان المنوي  
 (ج) في الإخصاب؟

## REFERENCES

## المراجع

1. EPEL, D., "The program of Fertilization," Scientific American, Offprint No. 1372, November, 1977. Describes the many changes that take place after a sperm encounters the egg.
2. BEACONSFIELD, P., G. BIRDWOOD, and REBECCA BEACONSFIELD, "The Placenta," Scientific American, Offprint No. 1478, August, 1980.
3. GROBSTEIN, C., "External Human Fertilization," Scientific American Offprint No. 1429, June, 1979. In addition to examining the ethical issues raised by these procedures, the author provides a superb account of the physiology of human reproduction.
4. FUCHS, F., "Genetic Amniocentesis," Scientific American, Offprint No. 1471, June, 1980. How genetic diseases can be diagnosed in the fetus.
5. DEVEY, G. B., and P. N. T. WELLS, "Ultrasound in Medical Diagnosis" Scientific American, Offprint No. 1389, May, 1978. How ultrasound is used to

---

explore safely in the interior of the body.

6. PATTON, S., "Milk," Scientific American, Offprint No. 1147, July, 1969.

## CHAPTER 18

## الباب الثامن عشر

### EARLY DEVELOPMENT

### النشأة المبكرة

STAGES IN THE DEVELOPMENT OF THE ADULT	أطوار في نشأة الحيوان البالغ	١٨-١
CLEAVAGE	الانشقاق (التفج)	١٨-٢
MORPHOGENESIS	التشكل التركيبي (المورفولوجي)	١٨-٣
DIFFERENTIATION	التشكل ( التميز )	١٨-٤
EVIDENCE THAT DIFFERENTIATING CELLS RETAIN THE ENTIRE GENOME	الدليل على أن الخلايا المتباينة تحتفظ بكل المجموع الجيني	١٨-٥
THE DNA CONTENT OF DIFFERENTIATED CELLS	١- محتويات الـ DNA من الخلايا المتباينة	
THE CHROMOSOME CONTENTS OF DIFFERENTIATED CELLS	٢- محتويات الكروموسوم من الخلايا المتباينة	
THE POLYTENE CHROMOSOMES	٣- كروموسومات البوليتين	
THE REVERSIBILITY OF	٤- قابلية التشكل في	

DIFFERENTIATION OF PLANT CELLS	خلايا النبات للإتعمكاس	
TESTING THE CAPACITY OF	٥- إختبار قدرة الانوية	
NUCLEI TO PROGRAM DEVELOPMENT	على نشوء البرمجة	
CYTOPLASMIC FACTORS AFFECTING	١٨-٦ . العوامل السيتوبلازمية التي تؤثر	
GENE EXPRESSION	على التعبير الجيني	
DURING DIFFERENTIATION	أثناء التباين	
EXTRACELLULAR FACTORS	١٨-٧ . العوامل الخارج خلوية	
AFFECTING GENE EXPRESSION	التي تؤثر على التعبير الجيني	
DURING DIFFERENTIATION	أثناء التباين	
THE REVERSIBILITY OF DIFFERENTIATION	١٨-٨ . قابلية التباين للإتعمكاس	
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب	
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل	
REFERENCES	المراجع	

## الباب الثامن عشر

### النشأة المبكرة

#### ١٨-١. أطوار في نشأة الحيوان البالغ

##### STAGES IN THE DEVELOPMENT OF THE ADULT

تم في البابين السابقين معرفة الطرق التي تصنع بها الجاميطات و كيف تتقابل جاميطات الذكر مع مثليتها في الأنثى لحدوث الأخصاب، الذي لا يعتبر نهاية عملية التكاثر الجنسي، بل هو في الواقع (أي الأخصاب) بداية لسلسلة من التغيرات المتتقة والمنظمة والتي بدورها سينتج عنها حيوان بالغ جديد للنوع . ونحن نستخدم تعبير نشأة لوصف تلك التغيرات، ولو أن النموذج المحدد للنشأة يختلف من نوع الى آخر (وخاصة إذا ما كانت الأنواع ليست في درجة من التقارب) كما يوجد بعض التداخل (Overlapping). هذا ويمكن للمرء أن يميز المراحل التالية .

##### CLEAVAGE

#### ١ — الانشقاق (التفليج)

في هذه المرحلة من النشأة تقوم نواه الزيجوت بسلسلة من الانقسامات الغير مباشرة (Mitotic) غالبا ما تنفصل الانوية الناتجة عن هذا الانقسام عن بعضها البعض بفواصل مع وجود جزء من سيتوبلازم الزيجوت حول كل نواة . ولا يوجد (او يوجد) قليل من النمو في تلك المرحلة .

##### MORPHOGENESIS

#### ٢ — التشكل التركيبي (المورفولوجي)

تستمر في هذه المرحلة الخلايا الناتجة عن مرحلة الانشقاق والمساه بالخلايا البنوية (Daughter cells) في الانقسام، لكنها أيضا تتحرك وتنظم نفسها في

طبقات وأنسجة مميزة، يظهر نتيجة لذلك نموذج محدد . ونشوء هذا النموذج هو ما يسمى بالتشكل التركيبي (المورفولوجي) (Morphogenesis) ولو أن خلايا الجنين أثناء تلك المرحلة من النشوء تصبح منتظمة في مجاميع واضحة لكنها تكون كلها متشابهة في التركيب.

#### DIFFERENTIATION

#### ٣ - التشكل ( التميز )

بعد ذلك مباشرة، تبدأ خلايا الجنين الناشيء في أخذ التركيب والوظيفة اللذين ستكون عليها تلك الخلايا في الحيوان البالغ، إذ تتكون الخلايا العصبية والخلايا العضلية، غيرها. ويطلق على هذه الطريقة التشكل أو التميز، لأن الخلايا المتباينة تتركب على شكل أنسجة، والانسجة الى أعضاء والأعضاء الى أجهزة.

#### GROWTH

#### ٤ - النمو

وحتى بعد اكتمال تكوين أجهزة جسم الكائن، يتبع ذلك فترة من النمو تكبر أثناءها الأعضاء وذلك لاستمرارية انقسام الخلايا أو كبر الخلايا نفسها أو كليهما. ومهما كانت ميكانيكية النمو، فهو يعتمد على حصوله على مواد أكثر وطاقة أكثر مما كان يحتاجه لمجرد حفاظه على الوظائف البسيطة للأعضاء، إذ لابد من تجمع بروتينات وكربروهيدراتات (و خاصة في النباتات) والكثير من الجزيئات الاخرى التي تميز الكائنات الحية.

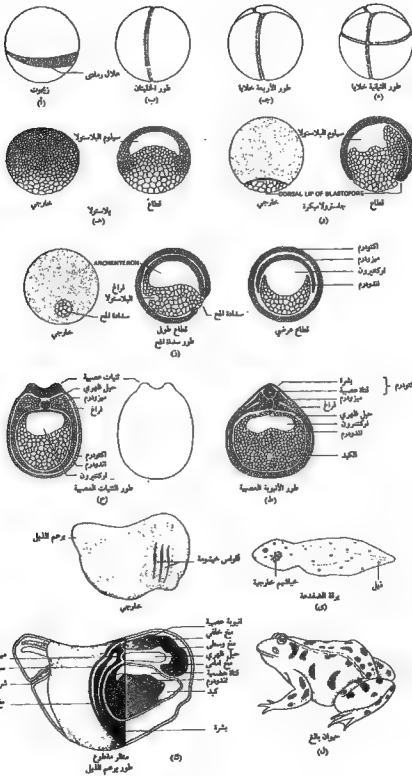
وبينما يمر الكائن في الثلاث مراحل الأولى السابق ذكرها، فهو عندئذ يسمى جنين (Embryo) ولنتناول الآن هذه المراحل الثلاثة بالتفصيل.

#### CLEAVAGE

#### ١٨-٢ . الانشقاق (التفليج)

وكما رأينا في الباب السابق، فإن دخول الحيوان المنوي (الاسperm) للصفدة في داخل بيضتها ينبه عدة أحداث، فيتم انقسام البويضة انقسامًا اختزاليا، يظهر الهلال الرمادي مقابل النقطة التي دخل منها الحيوان المنوي في البويضة، تلتحم نواه الحيوان المنوي مع نواه البويضة. وبعد اكتمال هذا الجزء الحيوي من عملية الاخصاب بقليل، يبدأ أول انشقاق في الحدوث، فتتقسم نواه الزيجوت انقسامًا غير مباشر، يظهر





الشكل ١٨-١ . أطوار النشوء في الضفدعة (مستمرة في الصفحة التالية).

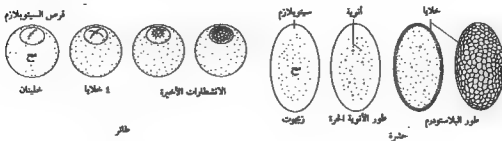
أخدود طولى مارا بقطبي البويضة (الشكل ١٨-١)، بذلك تنقسم البويضة الى نصفين.

وبعد نحو الساعة بعد حدوث أول انشقاق في بويضة الضفدعة تنقسم الخلايا البنيوية ثانية، ويتكون أخدود آخر بقطبي البويضة ولكنه في هذه حالة يكون متعامدا على الأخدود الأول. تنقسم كل من الخلايا الأربع المتكونة دوريا في مسطح أفقي (الشكل ١٨-١)، يوجد هذا المسطح أقرب الى القطب الحيواني عنه الى القطب الخضري. ونتيجة لذلك تكون خلايا القطب الحيواني أحيانا أصغر من خلايا القطب الخضري المثلثة بالمخ (Yolk)، يستمر الانشقاق على التوالي حتى يتكون طور الـ (١٦) خلية ثم طور الـ (٣٢) خلية.

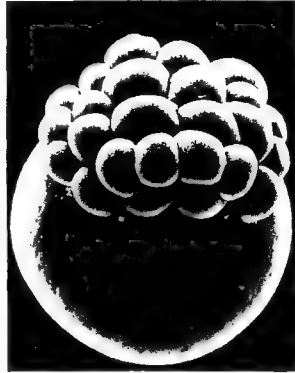
وباستمرارية عملية الانشقاق هذه، تبدأ خلايا القطب الحيواني في الانقسام أسرع من خلايا القطب الخضري، لذلك فان خلايا القطب الحيواني لا تكون أصغر في الحجم فقط بل أكثر عددا.

وأثناء تلك الفترة تحدث هجرة بعض خلايا القطب الحيواني والتي توجه نفسها بحيث يتكون فراغ مملوء بالسائل، هو ما يسمى بالبلاستوكول (Blastocoel) داخل كتلة الخلايا. والطور الذي يتم فيه تكوين هذه الكرة المفرغة من الخلايا يسمى بالبلاستولا (Blastula) وهو يبين نهاية طور الانشقاق. لاحظ أنه لم يحدث أثناء هذا الطور أي نمو في الاعضاء الناشئة، كما أصبحت الكتلة الاصلية من الخلايا مقسمة بفواصل الى وحدات أصغر فأصغر.

وتبيض الزواحف والطيور أكبر بيض حجما في جميع الكائنات الحية، فعلى سبيل المثال، فان بيضة الدجاجة تتكون من جزء صغير من السيترولازم مستندا على سطح



الشكل ١٨-٢. الانشطار في بيض الطيور والحشرات.

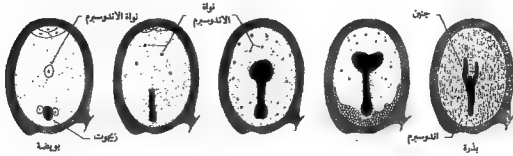


الشكل ١٨-٣.  
جنين سمك الزرد  
في طور ٣٢ -  
خلية. لاحظ أن مجايف  
الانشقاق لا تستمر  
لأسفل خلال المح في  
البيضة. (بصريح من  
هـ. و. ييمز، ريتشارد  
ج. كاسل).

كرة المح الكبيرة (الجزء الأبيض "White" من البيضة، ماهو إلا بروتين غير خلوي)، عند حدوث الانشقاق في بيضة الدجاجة، لا يستمر أخدود الانشقاق للداخل مغترقا كتلة المح، نتيجة لذلك، تبقى كل الخلايا الناتجة أثناء الاطوار الاولى من الانشقاق متجمعة عند قمة البيضة وعلى الجوانب ويفصلها عن بقية البيضة غشاء خلوي، لكن تبقى قاعدة كل خلية على اتصال مباشر مع كتلة المح (الشكل ١٨-٢)، يوجد هذا النوع من الانشقاق الجزئي أيضا في بيضة سمك الزرد (Zebrafish).

ويرتكز مع البيض في الحشرات في مركز البويضة، لا يصحب الانشقاق فيها الانقسام الغير مباشر لنواه الزيجوت إذ بدلا من ذلك تنقسم الانوية البنيوية (Daughter nuclei) باستمرار ولكنها تبقى معلقة في داخل حجرة البويضة الوحيدة (الشكل ١٨-٢). وبعد إنتاج العديد من الانوية، فانها تهاجر الى حافة البويضة الغنية بالسيتوبلازم، هنا فقط تتكون أغشية الخلايا حول كل نواة.

ويتبع نشوء السزيجوت في النباتات طرقا مختلفة عما هي في الحيوانات



الشكل ١٨-٤. الانشقاق والتشكل المورفولوجي في الإندوسبرم. غذاء الجنين الناشئ يضمته الإندوسبرم. مقياس الرسومات يقل من اليسار إلى اليمين.

فالانقسام الغير مباشر للزيجوت يلزمه دائماً كبر الخلايا في الحجم. ففي عاريات البذور (Gymnosperms) وكاسيات البذور (Angiosperms) تستطيل بعض الخلايا البنية بسرعة كبيرة، ينتج عن هذا النمو دفع باقي الخلايا لأعلى بداخل الإندوسبرم الغني بالغذاء، إذ يمد الإندوسبرم الجنين بالمواد التي يحتاجها في نمواته التالية (الشكل ١٨-٤).

وماذا ينجزه الانشقاق في نشوء الكائن؟ أولاً، فهو - أي الانشقاق - يزود الكائن بمخزون من الخلايا التي يتكون منها الجنين. إذ كما رأينا، فإن الخلايا هي الوحدة التركيبية لكل الكائنات الحية، كما يجب أن الانشقاق الممدد اللازم من تلك الخلايا. وثانياً، يهيئ الانشقاق علاقة عادية بين النواه وبين السيتوبلازم. وحتى البويضات الصغيرة فإنها تعتبر كبيرة إذا ما قورنت بأنواع أخرى من الخلايا، فحجم بويضة الضفدعة أكبر ١,٦ مليون مرة من حجم خلية الضفدعة العادية، لكنها - أي البويضة - تحتوي كذلك على نواه واحدة. وأثناء عملية الانشقاق تنتج آلاف من الانوية بطريقة الانقسام الغير مباشر، تصبح كل من تلك الانوية داخل خلية ذات أبعاد عادية. ويجب أن نتذكر أن بلاستولا الضفدعة بخلاياها التي تقدر بآلاف ليست أكبر حجماً من الزيجوت الأصلي.

### ١٨-٣. التشكل التركيبي (المورفولوجي) MORPHOGENESIS

لا ينتهي انقسام الخلية بطور البلاستولا، ففي الضفدعة تستمر الخلايا الأصغر والأعمق الموجودة عند القطب الحيواني في الانقسام السريع الغير مباشر، وبزيادة عدد

هذه الخلايا تبدأ في الهجرة لأسفل فوق الخلايا المملوءة بالسائل للقطب الخفزي ، كما تبدأ كذلك بعض خلايا القطب الخفزي في الهجرة وتدفع نفسها الى داخل الكتلة الخلوية ، محدثة انخفاضا هلاليا صغيرا يعرف باسم البلاستوبور (الشكل ١٨-١).  
واندفاع الخلايا للداخل هذا ينبيء بابتداء ظاهرة الانبعاج (Gastrulation) وهجرة خلايا القطب الحيواني الى اسفل فوق سطح الكتلة الخلوية يدفع عدد كبيرا من هذه الخلايا المهاجرة نفسها الى الداخل عند منطقة البلاستوبور.

وتتحول الخلايا المحتضنة من خلايا القطب الخفزي الى لوح من الخلايا التي تنمو لاعلى وما تلبث أن تحيط بفراغ أو فجوة، تسمى اركتيريون (Archenteron) (الشكل ١٨-١ ج)، اللوح المكون من الخلايا المذكورة هو خلايا اندودرمية أي داخلية (Endodermal) وينشأ من الاركتيريون كذلك القناة الهضمية، الكبد، غدد الهضم الاخرى، بعد التطور، الرئتين. وعند هذا الطور من النشوء، تنشأ الفتحة الوحيدة الموصلة للاركتيريون عند البلاستوبور، كما سيتكون في هذا المجال فيما بعد فتحة الشرج والبطانة الداخلية لكل تلك الاعضاء ستكون من الخلايا الاندودرمية الاتية مباشرة من خلايا القطب الخفزي الاوائل.

أما عن خلايا القطب الحيواني النامية لأسفل فوق الجنين، فهي كذلك تهاجر الى الداخل، تحدث هذه الهجرة أولا عند المنطقة العلوية (أو الظهرية) من البلاستوبور. وتحرك تلك الخلايا مباشرة للداخل تحت خلايا القطب الحيواني التي توجد بأعدادها. وتسمى تلك الخلايا عندئذ بالخلايا الميزودرمية أي الوسيطة (Mesodermal) والتي منها ينشأ عضو يشبه القضيب، هو الحبل الظهرى (Notochord) والذي يجري طوليا على امتداد الجانب العلوي للجنين الناشئ.

وباستمرار عملية الانبعاج السابق ذكرها، تتزاحم خلايا القطب الحيواني في الداخل حول الحافة الكلية للبلاستوبور وتصبح تلك الخلايا المتزاحمة أيضا خلايا ميزودرمية، وتترتب الخلايا الأقرب للحبل الظهرى في كتل منفصلة تسمى حلقات (Somites) التي ستنشأ منها العضلات والعظام في العمود الفقري، أما عن الخلايا الميزودرمية الأقرب الى السطح البطني للجنين ستكون منها بطانة السيلوم (Coelom) وهو فراغ الجسم الرئيسي. أما عن السيلوم نفسه فينشأ من انفصال هذا الميزودرم

(الشكل ١٨-١ ج). ويطلق على هذا الطور من النمو بطور سداة المَح (Yolk-Plug) إذ أنه مازال هناك قرص Disc صغير من خلايا المَح موجود في الخارج . أما عن خلايا القطب الحيواني والتي لم تهاجر للداخل فتسمى بالخلايا الاكتودرمية أي الخارجية (Ectodermal) ومنها تنشأ كل مكونات الجهاز العصبي وكذلك جلد الحيوان .

وبعد تكوين الحبل الظهري بقليل ، تقوم الخلايا الاكتودرمية الموجودة فوقه مباشرة بعدة انقسامات خلوية سريعة ، ينتج عنها طبقة مسطحة عميقة من الخلايا تسمى بالصفحة العصبية . وتنمو بعد ذلك حواف تلك الصفحة العصبية لأعلى بينما ينضغظ الجزء الوسطى منها والموجود فوق الحبل الظهري مباشرة . ويطلق على هذا الطور من النمو بطور تكوين الثنيات العصبية (Neural Folds) (شكل ١٨-١ ح) والذي يتبعه تكوين الأنبوبة العصبية . وينمو زوج الثنيات الملتوية علويا لأعلى ويتحدان سويا طوليا لتكوين الأنبوبة العصبية التي تحيط بالقناة العصبية وينشأ من هذا التركيب المخ والحبل الشوكي . ويوضح شكل (١٨ / ط) وجود ثلاثة انتفاخات من تلك الأنبوبة العصبية عند الطرف الأمامي للجنين ، ستصبح هذه الانتفاخات فيما بعد المخ ، ثم تسقط الأنبوبة العصبية لأسفل في الجنين وتغطي بطبقة أخرى من خلايا الاكتودرم والتي ستصبح فيما بعد الجلد .

ولو أن تفاصيل تكوين الانبعاث (Gastrulation) السابق ذكرها تختلف كثيرا من نوع إلى آخر ، فإن هذه الاختلافات سطحية وليست جوهرية . وفي كل حالة ، ينتج عن عملية الانبعاث هذه تكوين ثلاث طبقات أولية (تسمى في الغالب بالطبقات الجرثومية Germ layers) هي الاكتودرم والميزودرم والأندودرم ، ينشأ من تلك الطبقات الجرثومية الأعضاء والأجهزة المختلفة لجسم الإنسان . ويدون الشكل (١٨-٥) قائمة بمنشأ الطبقات الجرثومية للأعضاء والأجهزة المختلفة في جسم الإنسان ، يمكن استخدام نفس القائمة لكل حيوان فقاري .

وتعتبر عملية الانبعاث مصدر تكوين الشكل الأساسي للجنين ، فتتجمع الخلايا في أماكن محددة لتكوين الأنسجة والأعضاء والأجهزة المختلفة للكائن . ويتعدى هذا التكوين بكثير مجرد تجمع الخلايا فقط في الثلاثة طبقات المذكورة . ولا بد للخلايا الغير متخصصة في الاكتودرم والميزودرم والأندودرم من أن تأخذ جميعها أشكالا متخصصة

## الشكل ١٨-٥. منشأ أنسجة الجسم المختلفة من الطبقات الجرثومية

أندودرم	ميزودرم	إكتودرم
- بطانة القناة الهضمية	- العضلات	- الجلد، الشعر، الأظافر
- بطانة القصبة الهوائية،	- الدم والأوعية	- كل الجهاز العصبي بما
الشعب الهوائية، الرئات	الدموية	فيه الخلايا العصبية
- بطانة القناة البولية	- النسيج الضام	المستقبلية
والمثانة	بما فيه العظم	- النخاع الأدرينالي
- الكبد	- الحوالب	(Adrenal medulla)
- البنكرياس	- الخصي - المبايض	
	قنوات المبيض -	
	الرحم - الأمعاء	
	- الجهاز الليمفاوي	

وتنظيماً داخلياً يسمح لها بالقيام بوظائف الأنسجة والأعضاء التي وجدت بها تلك الخلايا الغير متخصصة. ويطلق على هذا التحول من خلايا غير متخصصة الى خلايا متخصصة تعبير التباين أو التميز Differentiation.

## DIFFERENTIATION

## ١٨-٤. التباين (التميز)

ولو أن الاطوار النهائية للتشكل وكذلك عملية تباين (تميز) الخلايا تتداخل لدرجة كبيرة، فيجب عندئذ أن نضع في الحسبان الفرق بين العمليتين. فالتشكل يشمل ترتيب الخلايا في الطبقات المختلفة والمجاميع والتي ستكون تراكيب الجسم، كما يشمل التشكل كذلك انقسام الخلايا وتحركها الفعلي من مكان الى آخر داخل الجنين. ولو أن أمام الطبقات المختلفة من الخلايا في انبعاث الضفدعة قدر محدود ومختلف، إلا أنها لا تظهر في مبدأ الامر هذه الاقدار بأي نوع من التخصص في التراكيب أو الوظيفة. وفي الحقيقة، فإنه من الممكن زرع خلايا من مكان في مكان آخر في الطور الأول للانبعاث

(جاسترولا)، وتكيف تلك الخلايا المترعة نفسها بسرعة في مكانها الجديد وتشارك في بناء العضو المناسب لها.

وباستمرار النشوء الجنيني، على ايه حال، فإن خلايا الجنين الناشيء تصل الى نقطة الالعودة، إذ أنها تصبح مسئولة عن تكوين نوع معين من الخلايا وبالتدريج فأنها تأخذ مظهر ووظيفة أنواع الخلايا المختلفة التي تم شرحها في الباب الخامس. وبمجرد عملها هذا، فإن كل خلية تبدأ في تخليق عدد صغير من البروتينات المميزة لهذا النوع من الخلايا، وليس لأي نوع آخر.

وتبدأ الخلايا المتباينة لعضلات القلب في تخليق بروتين خاص قابل للانقباض يسمى ميوسين (Myosin) القلب، كما تبدأ خلايا الدم المتباينة في تخليق الهيموجلوبين. وعند تباین خلايا النسيج الضام، فانها تصبح مسئولة عن تخليق الكولاجين وبروتينات أخرى خارج الخلايا، هكذا. وتبدو المسئولية عن حدوث قدر معين وكانها تحدث أولا في الميزودرم والاندودرم، ثم بعد ذلك في خلايا الاكتودرم.

ولوانه يمكن تمييز عمليات التشقق، التشكل، التباين الخلوي من بعضها البعض، الا أن تلك العمليات الثلاث تشترك في شيء واحد متشابه وأساسي. ففي كل حالة، نجد ان الأشياء الغير متشابهة تتكون من أشياء متشابهة. فخلايا القطب الحيواني في جنين الضفدعة المبكر تختلف في المظهر والتركيب الكيميائي عن مثيلاتها في القطب الخضري، فينتج من الكرة المجوفة للبلاستولا ثلاث طبقات جرثومية واضحة، يتكون من الخلايا الغير متخصصة في الثلاث طبقات الجرثومية جميع الخلايا المتباينة للكائن البالغ.

وفي كثير من الحالات، يحدث التباين مبكرا مرة واحدة في عمية النشوء. وعلى سبيل المثال، ربما لا يمكن حدوث تباين أكثر للخلايا العصبية بعد الطفولة، في حالات أخرى، يستمر التباين طوال الحياة، تستبدل الأنواع المتعددة من خلايا الدم باستمرار طوال العمر. ويوجد دليل واضح على أن جميع كرات الدم (الخلايا الحمراء، الخلايا الليمفاوية، الخلايا المتعادلة، غيرها) تتكون من خلية بدائية واحدة تسمى خلية الأصل (Stem cell) ويتبع الانقسام المباشر لتلك الخلايا الأصلية (الموجودة في نخاع العظام) خلايا الابنة والتي يواجهها أحد امرين، فالبعض منها يبقى كخلايا أصلية،



للتأكد من مورد دائم للخلايا الاصلية لا يستهلك أبداً، والبعض الآخر يدخل في عمر آخر من التباين، يسيرها في تلك الممرات، فانها تأخذ التركيب والوظيفة والبروتين المميز للخلايا التامة التباين والتي ستصبح عليها في النهاية (الشكل ٥-٢٧).

ونجعلنا عملية التباين هذه تتساءل عن تباين العمل الجيني. وبكل تأكيد، فان الجينات اللازمة لبناء جميع الخلايا المتباينة في جسم الانسان البالغ لابد وأن تكون موجودة في البويضة المخصبة. إذا كيف تتحول جينات معينة الى خلايا معينة (مثل جينات سلاسل الألفا والبيتا في الهيموجلوبين) بينما تذهب جينات أخرى الى خلايا أخرى؟ وكيف اذن انه كلما تقدم النشوء كلما نتجت خلايا غير متشابهة من خلايا كلها متشابهة؟

وتوجد لذلك إجابة واحدة معقولة وهي أنه عند كل انقسام غير مباشر، فان بعض الجينات تذهب كلها الى خلية واحدة ابنة، والبعض الآخر لخلية ابنة أخرى. وبهذه الطريقة، فان أغلب المجموع الجيني (Genome) الموجود في البويضة المخصبة يتكسر تدريجياً ويتوزع على الخلايا المختلفة في الجسم. وبهذا فان خلايا عضلة القلب تتلقى فقط الجينات التي تحتاج اليها لاداء وظائفها، منها الجينات التي تلائم تخليق ميوسين القلب. والخلايا التي ستصبح خلايا دم حمراء مثلاً تتلقى، مع غيرها، الجينات اللازمة لسلاسل الفا وبيتا الهيموجلوبين. وبينما تبلى هذه نظرية معقولة جداً لشرح التباين والنشاط الجيني التبايني الذي يجب أن يصاحبه، فانه توجد كمية كبيرة من المعلومات ترجح خطأ تلك النظرية. وعلى العكس من ذلك، فالدليل يقودنا الى خلاصة مختلفة تماماً: وهو على وجه الخصوص، أن كلا من الخلايا المتباينة في الجسم تحتفظ بكل المجموع الجيني (الجينوم) الذي كان موجوداً في البويضة المخصبة. دعنا عندئذ نختبر هذا الدليل فيما يلي:

#### ١٨-٥. الدليل على أن الخلايا المتباينة تحتفظ بكل المجموع الجيني

EVIDENCE THAT DIFFERENTIATING CELLS RETAIN THE ENTIRE GENOME

١ - محتويات الـ (DNA) في الخلايا المتباينة (المميزة)

THE DNA CONTENT OF DIFFERENTIATED CELLS

توجد طرق دقيقة لتحديد محتويات كل خلية من (DNA) فإذا ما طبقت تلك الطرق

على الأنواع المختلفة من الخلايا المتباينة، يظهر لنا شكل واضح (الشكل ١٨-٦) ومع قليل من الاستثناءات الصغيرة واستثناء واحد كبير، فإن الخلايا المختلفة في الجسم تحتوي على نفس الكمية من (DNA). والاستثناءات الصغيرة هي الخلايا العرضية (في الكبد، على سبيل المثال) والتي هي من النوع رباعي الكروموسومات، التي بها ضعف العدد الطبيعي من الكروموسومات. وتنشأ تلك الخلايا الرباعية نتيجة ازدواج الكروموسومات والانقسام بدون حدوث انقسام في الخلايا. أما الاستثناء الرئيسي فهو الجاميطات، إذ أنها تحتوي على نصف الـ (DNA) الموجود في الخلايا الأخرى (الشكل ١٨-٦) وذلك لنشئها عن طريق الانقسام الاختزالي، هذا دليل معقول تماماً.

شكل ١٨/٦: وزن (DNA) في أنوية خلايا مختلفة في الأبقار، مقدرة بالبيكوجرامات (١٠-١٢ جرام) لكل نواة.

٦,٤	الكبد
٦,٨	اطحال
٦,٤	الغدة التيموسية
٦,٦	البنكرياس
٣,٣	الحيوان النوي

## ٢ - المحتويات الكروموسومية في الخلايا المتباينة

### THE CHROMOSOME CONTENT OF DIFFERENTIATED CELLS

مع تقدم وسائل تحاليل الخريطة الكروموسومية (Karyotype) أصبح الآن واضحاً ان (و كذلك مع بعض الاستثناءات القليلة) الخلايا المتباينة المختلفة لأي كائن تنقسم نفس العدد من الكروموسومات. واختبر العالمان ت. ت. باك (T. T. Puck)، ج. هـ. تيجيو (J. H. Tjio) [واللذان زودانا بإحدى هذه الصور الميكروجرافية الموجودة في الشكل (١١-١٠)] الخرائط الكروموسومية في ١٨٢٥ خلية فردية مأخوذة من ثنائي أنسجة مختلفة من أنسجة الإنسان. وفي كل حالة تقريباً، كان عدد الكروموسومات متساوي: ستة وأربعين (٤٦)، و خلية واحدة فقط من المجموعة كان عدد

كروموسوماتها (٤٥)، خلية أخرى (٤٧) كروموسوم. علاوة على ذلك، وجدت خلايا قليلة (مثل بعض الخلايا في الكبد) من النوع رباعي الكروموسومات (<sup>4n</sup>) (والتي تم شرح وجودها في الصفحة السابقة). وأن تحليل الخريطة الكروموسومية في العديد من الأنواع الأخرى هي القاعدة العامة وهي أن الكروموسومات في العادة لا تفقد أثناء النشوء أو التباين.

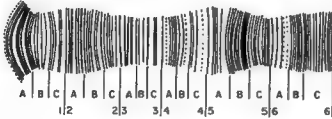
## POLYTENE CHROMOSOMES

## ٣ - كروموسومات البوليتين

تمت دراسة كروموسومات البوليتين (العملاقة Giant) بالتفصيل والموجودة في كثير من خلايا يرقات الذباب في الباب الخامس عشر ولقد فحصنا الدليل على أن كل شريط (Band) في تلك الكروموسومات يمثل موقعا جينيا.

والهم في الجدل الحالي هو أن المظهر العام للكروموسومات العملاقة - بما فيها تتابع ٥٠٠٠ شريط - هو نفسه مهما كانت الخلية التي أخذت منها تلك الكروموسومات (الشكل ١٨-٧). وقد تنتفخ بعض مناطق الكروموسومات في نوع واحد من الخلايا،

غدة لعابية



أنبوية مليجي



مستقيم



قناة هضمية وسطى



شكل ١٨-٧. أجزاء متساوية من الكروموسومات في حشرة الهموش *Chironomus tentans* كما تظهر في أربعة أشكال مختلفة من الخلايا في الحشرة. الاختلافات في مظهر الأشرطة ربما تعكس الاختلافات في النشاط الجيني في الخلايا المختلفة (من عمل بيرمان، بصريج من شبرنجر - فيرلاج).

ومناطق أخرى غيرها تنتفخ في أنواع أخرى من الخلايا. وفي الحقيقة، فنحن مقتنعون بأن الانتفاخات المعينة هذه في نوع محدد من الخلايا المتباينة تعكس نشاطا جينيا مكثفا يميز تلك الخلايا لكن، حتى في عدم وجود الانتفاخات، فإن كل الحلقات - ومعنى هذا كل الجينات - تكون موجودة في كل خلية.

#### ٤ - قابلية التشكل في خلايا النبات للإنعكاس

##### THE REVERSIBILITY OF DIFFERENTIATION IN PLANT CELLS

توجد إجابة مباشرة لسؤالنا في الشكل (١٨-٨)، إذ أنه إذا زرعت خلية متباينة من جذر نبات الجزر في بيئة زراعية مناسبة، تبدأ تلك الخلية في الانقسام المتتابع، فاقدة تركيبها التيباني بفعلها هذا، ثم تبدأ الخلايا الناشئة عنها في التباين، وأخيرا تكون تلك الخلايا كل الاعضاء التي يتكون منها نبات جزر كامل. وبالتأكيد فإن تلك الخلية المتباينة من جذر النبات لم تفقد أي مجموع جيني (جينوم) للنوع، ولو أنه قبل إجراء التجربة، لم تحتاج الخلية المذكورة إلا إلى الجزء من النبات الذي يمثّل تركيب ووظيفة خلية الجزر. وربما لو وضعت أي خلية متباينة من أي نبات في وسط يشابه ذلك الموجود في الاندوسبرم (الشكل ١٨-٤)، يمكنها أن ترجع إلى الشكل الجيني وتمتلك كل القدرات الجينية المميزة لنوعها إذا ما تركت حرة.

#### اختبار قدرة الانوية على نشوء البرمجة

##### TESTING THE CAPACITY OF NUCLEI TO PROGRAM DEVELOPMENT

إن الموقف غير واضح جيدا بالنسبة إلى الحيوانات. ومن أوائل التقرب من السؤال العمل على الفصل الطبيعي للخلايا الناشئة في الاطوار المبكرة لعملية الانشقاق، إذ أنه من المعروف أن كلا من الخليتين الناتجتين عن قيام زيجوت الضفدعة بأول انشقاق له تعطي نصف الجنين. وقد يعتقد المرء بطريقة أو بأخرى أن كلا من هاتين الخليتين قادرة على استخدام نصف جينات الكائن فقط، لكن الفصل الطبيعي للخلايا يظهر، على أي حال، أن هذا ليس هو الواقع، إذ أنه عند تربية كل خلية على حدة تستمر كل منهما على إعطاء جنين كامل ولو أنه اصغر حجما.

ووجدنا هذا الاكتشاف بتوضيح سبب وجود توائم متشابهة، هي التوائم التي تعطي



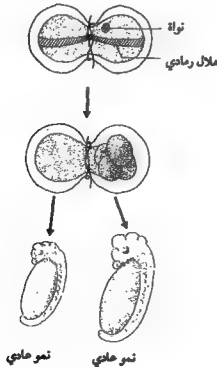
شكل ١٨-٨. نبات  
الجزر في دورق نيا من  
خلايا جلور كاملة  
التشكل والتي تم عزلها  
وترعيتها في القيام  
بالانقسام الغير مباشر  
(يتصرع من روي دي  
كارافا، سيانتيفيك  
أمريكان).

تشابها مذهلا بين بعضها البعض. والتوائم المتشابهة دائما ما تكون من نفس الجنس، قد نجد أن هذا التشابه يكون أيضا في كل شيء حتى في كيميائية الجسم. ويمكننا تصديق ذلك إذ أن تلك التوائم المتشابهة تأتي من زيجوت واحد، الذي انفصل إلى جزئين بعد حدوث انشقاق أو انشقاقين. وبدون شك، فإن الثلاثة أو أربعة أو خمسة توائم تنشأ بنفس الطريقة. والتشابه المذهل لهذه الافراد يمكن تفهمه إذا تأكدنا أنهم تكونوا جميعا من زيجوت واحد أي مجموعة واحدة من الجينات.

وعند تكرار تجربة فصل الخلايا وهي عند طور الاربعة خلايا من الانشقاق كانت النتائج مختلفة - تماما، إذ لم تستطيع أي خلية من الخلايا الاربعة عند فصلها أن تعطي جنينا كاملا. ماذا حدث إذن؟ هل فقدت الانوية البنوية (Daughter nuclei) التي انتجت أثناء الانشقاق الثاني بعضاً من جيناتها اللازمة لتكوين كل الكائن؟ اكتشف الاجابة على هذا السؤال عالم الاجنة التجريبي الالمانى هانز سبيمان (Hans Spemann) إذ استخدم هذا العالم خيوطا رفيعة من شعرة طفل، وحاول عمل اربطة متينة حول البويضات المخصبة حديثا (والتي تماثل بيضة الضفدعة)

بحيث تصبح كل بويضة منضغطة طوليا من وسطها الى نصفين، مع انقسام الهلال الرمادي الى نصفين كما هو واضح في الشكل (١٨-٩). وكانت نواة الزيجوت في أحد النصفين، وبقي النصف الآخر بدون نواة ولكنه كان على صلة بالنصف الآخر المحتوي على النواة بقنطرة ضيقة من السيتوبلازم. ولقد وجد سيبان أن نصف البويضة المحتوي على النواة هو الذي يقوم بعملية الانشقاق. وعلى أية حال، فانه عند نقطة معينة أثناء الانشقاق، تنتقل النواة عن طريق قنطرة السيتوبلازم الى النصف الآخر، وبمجرد حدوث ذلك، يبدأ هذا النصف الآخر في الانشقاق ايضا، ومع ذلك، كانت نواته نتيجة لعدة انشقاقات سابقة (قد يبلغ عددها خمسة انشقاقات)، ثم يستمر هذا النصف الآخر في تكوين جنين كامل. وواضح أذن، أن النواة، عند طور الانثنين والثلاثين (٣٢) خلية على الأقل، لم تفقد أيا من جيناتها لتكوين الكائن (الجنين).

وحدثنا، أجريت محاولات عدة للإجابة على السؤال الخاص بوسائل تجارب زرع الانوية. باستخدام موجهات دقيقة (Micromanipulators) مجهزة للعمل على خلية واحدة، نجح العالمان روبرت برجز (Robert Briggs) وتوماس كنج (Thomas King) في فصل الانوية من خلايا اجنة الضفدعة في أطوار مختلفة من النمو. واختيار مقدره هذه الانوية، قام العالمان بزراعتها في بيض ضفدعة غير مخضب والتي نزع منها

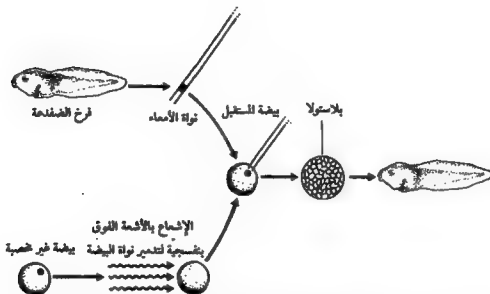


الشكل ١٨-٩. تجريبة سيبان. السيتوبلازم الى يسار العقدة لم يستقبل نواة الى أن قامت نواة الزيجوت الرئيسية بعدة انقسامات غير مباشرة. ومع ذلك، عندما انشقت نواة نهائيا، فنصف البويضة هذا استمر في النمو عاديا. وهذا دلالة على أنه لم تفقد أي جينات أو لم تنشط عكسيا أثناء الانقسامات الغير مباشرة المبكرة

انويتها. ، وهذه الطريقة ، أمكن تحديد ما إذا كانت نواة من الاطوار الاخيرة من النمو الجنيني عندها نفس مقدرة نواة الزيجوت أو نواة خلية الانشقاق المبكر. وأمكن بسرعة معرفة أن الانوية المتأخرة من بلاستولا الضفدعة مازالت تحتفظ بكل قدرات نواة الزيجوت كما تم معرفة أن نواة أي خلية من الالف الخلايا الموجودة في بلاستولا الضفدعة تعمل أيضا على بدء النشوء (النمو) العادي تماما اذا مازرعت في بيضة ضفدعة فقدت نواتها.

ويمكن تفهم هذا لوجود دليل جيد الان على أن كروموسومات الخلايا أثناء الانشقاق لم تبدأ بعد أي وظيفة فيما عدا تضاعفها أثناء ما بين أطوار تكرار الانقسامات الغير مباشرة. وكل الضوابط على نشاطات خلايا الانشقاق تبدو وكأنها ناتجة بسبب الرسائل الكثيرة لجزيئات (RNA) والريبوسومات والتي وضعتها الام في البويضة الغير مخصبة أثناء عملية تكوين البيضة (Oogenesis) وبعبارة أخرى تبدو الجينات التي زود بها الاب حيواناته المنوية وكأنها لا تلعب أي دور اثناء الانشقاق، ولكن فقط عند ابتداء عملية الانبعاث (Gastrulation) ، وتبدأ الانوية في صنع ريبوسومات جديدة وفي تخليق (RNA) قوي - مستخدمة في ذلك رموزا من الام ومن الاب (وربما لا تنطبق هذه القصة على الثدييات، اذ أنه يوجد دليل على أن جينات الاب تبدأ في إظهار تأثيرها في وقت مبكر مثل وقت حدوث الطور الثاني الخلية أي طور تكوين الخليتين في الانشقاق في الفأر).

وعندما كرر برجز، كنج تجاربهما باستخدام أنوية من الاطوار المتأخرة في الجنين، أمكنهما الحصول على نتائج مختلفة تماما، إذ كانت تلك الانوية قادرة أيضا على تنشيط عملية نشوء الجنين ولكن مع درجات واسعة مختلفة من النجاح المنتظر، إذ ان الكثير من الاجنة الناتجة توقفت عن النشوء في طور أو في آخر. علاوة على ذلك فان الاجنة التي استطاعت تكملة نموها كانت مشوهة في الغالب وهذا الدليل يجعلنا نقترح بأنه أثناء الانبعاث تتغير الانوية. لقد شاهدنا في الباب الرابع عشر أنه أثناء عملية التباين في خلية مفرزة للاجسام المضادة، فان جيناتها التي ترسل اشاراتها الى الجسم المضاد «تقفز» الى مكان آخر في المجموع الجيني (الجينوم) ولا يمكن ارجاع هذه القفزة ثانية. واذا ما أظهر بحث آخر ثبت وجود ظاهرة علم العودة في حالات اخرى من حالات التباين خاصة باعادة ترتيب الجينات، فيمكن إذن للتباين أن يحدث كبتا مستديما



الشكل ١٨-١٠. طريقة زرع النواة. تسحب نواة من خلية واحدة (في هذه الحالة في الأمعاء) وتزرع في بيضة ثم تلمر نواتها بالأشعاع. وحتى ولو أنها أخذت من خلية تامة التشكل، فالنواة كانت قادرة على برمجة نمو عادي للبيضة إلى فرخ الضفدعة.

لاجزاء من المجموع الجنيني. ومن جهة أخرى فإن الفشل المتكرر لأنوية الجاسترولا لعمل برنامج عادي للنشوء ربما يعكس ببساطة فشلا لحدى طرق التجارب وليس بسبب صفة متغيرة للأنوية. هذا وقد أمكن للعالم جوردون (Gurdon) في تجاربه مع ضفدعة جنوب افريقيا المخيلية *Xenopus laevis* - في نسبة متواضعة من الحالات - أن ينشيء (يكون) فرخ ضفدعة (Tadpole) من بيضة استبدلت نواتها بنواة أخرى أخذت من خلية متباينة تماما من أمعاء فرخ ضفدعة أخرى (شكل ١٨-١٠). ولربما، حينئذ، أن الأنوية المأخوذة من خلايا غير منقسمة وكاملة التباين، تكون ببساطة أكثر عرضة بكثير للضرر أثناء التجارب، ولا يمكن كبت عدم إبطال تأثيرها.

ويبدو أن كروموسومات خلية الدم الحمراء في الكتكوت مكبوتة على الدوام حيث أنه لم يكتشف أي أثر لتخليق (RNA). وعلى إيه حال، إذا ما أدخلت نواة الخلية الحمراء للكتكوت في سيتوبلازم خلية حيوان ثديي نشطة في عمليات تمثيلها الداخلي، باستخدام طريقة تهجين الخلية الجسمية (انظر قسم ١١-٨)، فإنه يمتنع كبت الكروموسومات التي تصبح نشطة مرة أخرى في تخليق (RNA).

وبأخذ كل هذا مجتمعا، تظهر كل الدلائل على أنه أثناء النشوء الجنيني، فإن



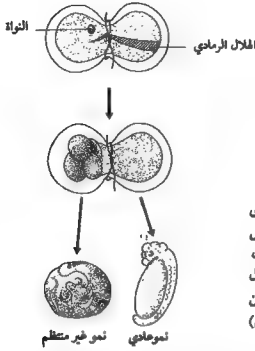
الجينات لا تتردد للخارج الى الخلايا التي استدخل في عمرات مختلفة من التباين، إذ بدلا من ذلك، فان كل خلية متباينة (مع وجود استثناءات قليلة جدا) تحتفظ بكل المجموع الجيني الذي كان موجودا في البويضة المخصبة. إذن ماهي الوسيلة البديلة التي يمكن الرجوع اليها لشرح ظاهرة التباين في الخلية؟ ومرة أخرى، فنحن نواجه مشكلة تباين النشاط الجيني. ولقد اكتشفنا في الباب الخامس عشر عوامل معينة (هورمونات) يمكنها تشغيل وإبطال (فتح وقفل) عمل الجينات في الخلايا المتباينة، وسميت هذه العملية باسم تعديل Modulation. فهل يمكننا الآن إيجاد عوامل يمكنها بالاختبار تشغيل وإبطال الجينات عندما تدخل الخلايا التي تحتوي على تلك الجينات ممرا أو آخر من عمرات التباين؟

#### ١٨-٦. العوامل السيتوبلازمية التي تؤثر على تعبير الجينات أثناء التباين أو التميز:

##### CYTOPLASMIC FACTORS AFFECTING GENE EXPRESSION DURING DIFFERENTIATION:

ان من أوائل الاكتشافات الدالة على وجود عامل يؤثر في التباين (التميز) هو الذي تمت معرفته من التجارب التي أجريت على الخلية والتي قام بها سبيمان (Spemann) وتم مناقشتها في القسم السابق (أنظر الشكل ١٨-٩). وعندما كرر سبيمان تجاربه مع البويضة المخصبة المنبجعة من وسطها بحيث يقع كل الهلال الرمادي في نصف البويضة، كانت النتيجة مختلفة تماما (الشكل ١٨-١١) إذ بدأ النصف الخالي من الهلال الرمادي والمحتوي على النواة في الانشقاق مباشرة، ومع ذلك لم يتعد نموه أبعد من كتلة غير منتظمة من الامعاء، الكبد، وبعض الخلايا البطنية. أما عن النصف الآخر، ولو أنه خال من النواة إلا عند الانقسام الرابع الغير مباشر في الجانب المنشق، فقد استمر في تكوين جنين عادي متكامل. ويعتبر هذا دليل أيضا على أن الأنوية هنا في طور الستة عشر خلية (١٦)، لم تفقد أيا من جيناتها. ولكن لماذا إذن، فشل جنين عادي في النشوء (النمو) على الجانب الموجود به نواة الزيجوت؟

ولقد رأينا بالفعل أن توزيع السيتوبلازم، الميتوكوندريا، RNA، الريبوسومات، المخ، في بيض البرمائيات ليس متماثلا. فبعد الاخصاب بقليل، يهاجر بعض من محتويات السيتوبلازم ويكون الهلال الرمادي. ولربما أن مقدرة النواة على الأداء تنظمه بيضة السيتوبلازم والذي تجد النواة نفسها في وسطه. وعلى هذا، ففي تجربة سبيمان



الشكل ١٨-١١. احلى تجارب سيبيان الأخرى. وحتى أنه بدأ النشوء (النمو) أولاً، فالجنين الذي ينقصه الهلال الرمادي لم يستطع النمو أكثر من كتلة من أنسجة الكرش (البطن) الغير منتظمة.

الأولى، نجد أن كل نصف بيضة احتوى على جميع مكونات البيضة الطبيعية، لأن الانقباض الطولي كان متعامداً على الهلال الرمادي. وعلى أية حال، فإنه في تجربته الثانية، ربما فقد نصف البيضة الذي ينقصه الهلال الرمادي بعض مواد سيتوبلازم الأساسية.

ولربما توضح أهمية بيئة سيتوبلازم نتائج تجارب فصل الخلايا التي وصفت من قبل. فعند حدوث الانشقاق الأول في بيضة الضفدعة عمودياً على الهلال الرمادي (كما يفعل دائماً)، فإن كلا من الخليتين الناتجتين تحتوي على كل محتويات البيضة العادية. والانشقاق الثاني، على أية حال، يعزل الهلال الرمادي في خليتين من الخلايا الأربع الناتجة. ولو أن جميع الخلايا تحتوي على انوية مع الصفات الوراثية الكاملة، قد نفترض أن عمل الجينات هو الآن محدد بما يحيط بها من سيتوبلازم والذي وجدت الانوية نفسها بداخله. ولو أن جميع الانوية متشابهة، إلا أن الاتحاد النووي السيتوبلازمي غير ذلك، وعندنا الآن أول دليل وهو الطريقة التي يمكن بها أن تتكون خلايا غير متشابهة من زيجوت واحد.

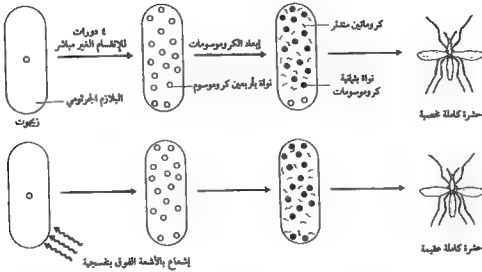
وغياب مقومات تخليق (RNA) قبل الانبعاث في بيضة الضفدعة يمثل مثلاً آخر لتأثير

السيتوبلازم على النشاط الجيني للنواة، وعند زراعة أنوية من الاطوار المتأخرة للنشوء الجيني، أو حتى من فرخ ضفدعة صغيرة، في بيض، فإنها بسرعة (في خلال ٤٠ دقيقة) تفقد انويتها وتوقف تخليق (RNA). وليس قبل أن توجه تلك الانوية الجنين الى أن يصل الى طور الانبعاث، تبدأ تلك الانوية في استمرارية تخليق (RNA). وتبدل محاولات عزل المانع السيتوبلازمي للـ (RNA) على أنه جزيء صغير نسبيا.

ومن أحد الامثلة الواضحة الدالة على تأثير السيتوبلازم على ماتفعله أو لاتفعله النواة موجود في حشرة الهاموش الصانعة للأورام (Gall Midge). ولعلك تتذكر (قسم ١٨-٢) أن الانشقاق في بيض الحشرات يضم إنتاج أنوية تبقي معلقة داخل المحتويات الغير منعزلة بفواصل في البيضة (الشكل ١٨-٢). وفي الانقسام الرابع الغير مباشر في بيضة الهاموش المذكور، فإنه أمكن ثقب اثنين من الستة عشر (١٦) نواة الناتجة في كمية صغيرة من السيتوبلازم عند أحد طرفي البيضة (الشكل ١٨-١٢). وفي الانقسام الخامس الغير مباشر، تنقسم هاتان النواتان بطريقة عادية، فتتجه الخلايا البنية وبها جميع الكروموسومات ( $2n=4$ ) الخاصة بالنوع، ولكن لا يحدث هذا في الانوية الاخرى. وعند بلوغ كل من هذه الخلايا البنية طور المرحلة الانفصالية (Anaphase) فإن ٨ من الـ ٤٠ كروموسوم (المزدوجة Doublets) تنفصل وتتحرك الى اطراف المضادة للمغزل، ويبقى الاثنان والثلاثون كروموسوم الباقية في المركز ثم تلاشي بالتدريج.

أما عن نسل النواتين الطبيعيين فإنها تتباين (تتميز) أخيرا لتكون الحيوان المنوي أو البويضة، أي البلازم الجرثومي. ويختص نسل باقي الأنوية، وهي التي قل عدد كروموسوماتها بشدة، فهي تستمر لتكونين باقي أنسجة جسم الحشرة، أي البلازم الجنسي (وكانت تلك القصة متسعد العالم وايزمان - أنظر قسم ١٠-١). وفي الحقيقة، إذا ما تألفت المنطقة الخاصة من السيتوبلازم الموجودة عند طرف البيضة (وذلك بتعريضها للأشعاع باستخدام الضوء الفوق بنفسجي) فإن الأنوية التي تجدد نفسها في تلك المنطقة تنقسم بطريقة غير عادية تماما كأخواتها. وعند بلوغ الحيوان طور النضج، سيكون هذا الحيوان عقيما ولو أنه يبدو طبيعيا في كل شيء آخر (الشكل ١٨-١٢).

وفي الجينات التي تنشط أختياريا (Selectively) بسبب بيئة



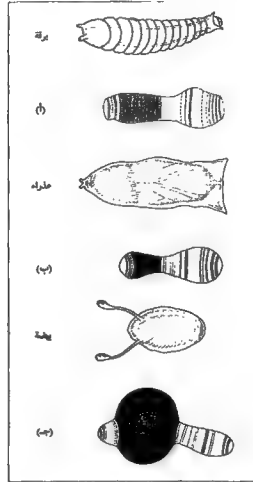
الشكل ١٨-١٢. أعلى: نشوء حادتي في هاموش الأورام. الجاميطات مأخوذة من توائين، كل نواة بالعدد الكامل لمجموعة الكروموسومات الزوجية (Diploids) التي تصبح منفصلة إلى كتلة من السيتوبلازم الخاص (البلازم الجراثيمي). الأنوية الباقية تفقد ٣٢ كروموسوم قبل الاستمرار في تكوين باقي جسم الحيوان (البلازم الجسدي).

أسفل: تدمير البلازما الجراثيمية يجعل الأنوية التي تتحرك هناك قبل قيامها بزوال الكروموسومات أيضا. والحيوان الناشئ يكون عقيبا ولكن فيما هذا ذلك عاديا. توضح هذه التجربة أن قدرات النواة تتأثر بالبيئة السيتوبلازمية التي نجد نفسها فيها.

سيتوبلازمية معينة، فلا بد أن نتوقع من النماذج المتفخمة من الكروموسومات العملاقة أن تعكس ذلك. ولقد رأينا من قبل أنه في أي وقت فإن نموذج الانتفاخات في نوع واحد من الخلايا (كما في الغدد اللعابية) يختلف بعض الشيء عن ذلك الموجود في نوع آخر (كما في أنبوبة مليجي)، ولربما يكون هذا انعكاسا لما يحيط بها من سيتوبلازم مختلف. فإذا، على سبيل المثال، ما زرعنا نواة غدة لعابية في بويضة (وهي خلية خالية دائما من الكروموسومات العملاقة)، يظهر على الفور نموذج جديد من الانتفاخات (الشكل ١٨-١٣).

ويشاهد نفس النوع من النشاط في تغير الانتفاخات أثناء التباين في نوع واحد من الخلايا. وتوضح لنا الصور الثمانية الدقيقة والتي ترى في الشكل (١٨-١٤) كيف أن نمط التحليق (Banding) في نفس المنطقة من كروموسوم عملاق يتغير أثناء عملية

الشكل ١٨-١٣.  
تغيرات في مناطق مشابهة  
من الكروموسوم  
المعلق في ذبابة فاكهة  
(أ) في اليرقة (ب) في  
العلواء، (ج) عند زرع  
في بيضة (البيض ليس به  
عادة كروموسومات  
عملقة). الانشعاعات  
(Puff) في  
الكروموسومات مرتبطة  
بزيادة الأنشطة.

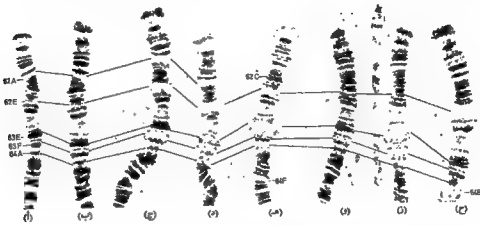


التباين في خلية غدة لعابية، أي يتغير النمط من ساعة الى أخرى، فالحلقات تنتفخ، وترتد وقد تنتفخ ثانية. وهنا، عندئذ، يوجد دليل مرئي على تابع النموذج للنشاط الجيني أثناء عملية التباين في نوع واحد من الخلايا.

١٨-٧. العوامل الخارجية من الخلايا و التي تؤثر في تعبير الجين أثناء التباين (التميز):

EXTRACELLULAR FACTORS AFFECTING GENE EXPRESSION DURING DIFFERENTIATION :

أظهرت تجارب سبيمان على البويضات أن التوزيع الغير متساوي للمواد داخل البويضة المخصبة يؤدي إلى ظهور خلايا ذات أنصبه مختلفة، بالرغم من تشابه التحكم النووي بها. ولكن هل الجنين الموجود في بيضة الصفدة المخصبة ذو نموذج متكامل؟



الشكل ١٨-١٤. التغيرات في نظام الانقسامات في حلقات متشابهة في العدد ٣ كروموسوم في ذبابة الفاكهة خلال ٢٤ ساعة من النشوء العادي. لاحظ أنه أثناء تلك الفترة، والتي فيها كانت اليرقات مستعدة للتعلير، تكونت انقسامات معينة، ارتدت (انتكست) ثم تكونت ثانية. وعلى أية حال، الترتيب الذي قامت به اختلف كثيرا. وعلى سبيل المثال، في اليرقة E ٦٢ يصبح نشطا قبل E ٦٣ (ج، د، هـ)، ولكن عند بدء التعلير، المكس هو الصحيح (ز، ح). (بتصريح من دكتور ميشيل أشبورنر، جامعة كمبريدج).

إذا من الصعب تصور أن تكون المكونات البسيطة نسبيا داخل البويضة مسئولة عن كل تعقيدات الهجرة والتباين (التميز) في الخلايا أثناء نشأتها الجنينية. فهل توجد إذن عوامل أخرى متداخلة غير تلك العوامل المتداخلة البسيطة والموجودة بين التواء والبيئة السيتوبلازمية الخاصة والتي تم فصلها (عزلها) عنها أولا؟

كان سببيان، ثانية، هو الذي بين أن نموذج النشأة في الخلايا يعتمد أيضا على أنشطة الخلايا الأخرى، ولعلك تذكر أنه وجد أنه يمكن لنصف زيجوت جديد النشوء (النمو) بطريقة عادية طالما يتوفر لهذا الزيجوت مايلي: (١) إحتوائه على النواه، (٢) إحتوائه على بعض مناطق السيتوبلازم المساه بالهلال الرمادي، إذ قد عرف سببيان أن الخلايا التي تنشأ في منطقة الهلال الرمادي هي التي تهاجر عن طريق البلاستوبور أثناء طور الأنبعاج وتكون الحبل الظهري (Notochord). وبمهاره فائقة في الجراحة، نجح سببيان في فصل خلايا البشفة العليا للبلاستوبور قبل هجرتها للداخل (الشكل ١٨-١٥)، ثم زرع تلك القطعة الصغيرة من النسيج في الجهة البطنية لجاسترولا عادية حديثة. ولتسهيل الأمر لنفسه حتى يمكنه تتبع نصيب عملية الزرع، استخدم الجاسترولا المبكرة لسلالة فاتحة من الجنين المكتمل النمو (Newt) كمتطوع والجاسترولا

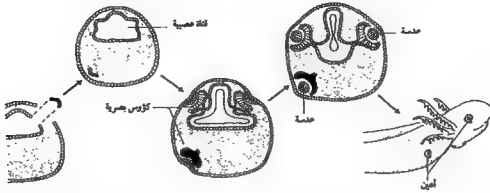
المبكرة بسلسلة داكنة كعائل . واكتشف سيبان أن القطعة المنزرعة في الشفة العليا نمت وأعطت حبلًا ظهرًا آخر ، ثم ظهرت الشببات العصبية فوق موقع القطعة المنزرعة . وعلى أية حال ، كانت كل هذه النموات خلايا داكنة (أي خلايا العائل) ، واستمرت في النمو، مكونة أنبوبة عصبية ثم جهاز عصبي مركزي وكانت النتيجة إنتاج وحش ذو رأسين .

وحقيقة أن غالبية أنسجة الرأس الثانية لم تنشأ من الخلايا المنزرعة بل من خلايا العائل ، وأعطت تلك النتيجة سيبان التفكير في أن الخلايا المنزرعة قد غيرت من مسار نمو خلايا العائل الموجودة فوق الخلايا المنزرعة لإنتاج جهاز عصبي مركزي ثان .

ولم يلاحظ سيبان أي تأثير عندما زرع أجزاء من الجاسترولات بدلا من خلايا الشفة العليا إذ نما النسيج المنزرع تبعا لموقعه الجديد . ولأن الشفة العليا فقط للبلاستوبور يمكنها أن تؤثر في تغيير النشأة في العائل فلقد سمى سيبان هذه الشفة العليا للبلاستوبور بالمنظم (Organizer) ، رأي أن هذا المنظم يبنه عمليتي التشكل (Morphogenesis) والتباين (Differentiation) بترتيب تكوين الأنبوبة العصبية ، وربما ترغب الأنبوبة العصبية لتكوين أجهزة جنينية أخرى . وعلى سبيل المثال ، نحن نعلم أنه بمجرد نشؤ المخ ، ينشأ منه للخارج كتلتان من النسيج العصبي ، هما الكأسان البصريان (Optic cups) . وبما أن تلك الكؤوس البصرية موجودة قرب السطح الأمامي للجنين ، فإن خلايا الجلد الموجودة أمامها مباشرة تتحول لتكون العدسات (الشكل ١٨-١٦) ، وتصبح تلك الكؤوس البصرية شبكية المنتج النهائي ، ألا وهو العين .



الشكل ١٨-١٥ . تجارب أخرى للعالم سيبان . نسيج المتبرع «أبيض» من منطقة الحلال الرمادي نما إلى حبل ظهري وشجعت تكوين رأس ثانية على عائلها الرمادي .



الشكل ١٨-١٦. النمو الجنيني في عين سلاماندر. يرغب زرع كلس بصري تكوين العنق في أنسجة جائلها وتنشأ عين إضافية.

ونظرية الترغيب (Induction) هذه توضح بكل سهولة تحول خلايا الجلد إلى خلايا للعدسة. وفي الحقيقة، ليس من الصعب تصور نمو الجنين بأكمله بهذه الكيفية، إذ أن كل مركب يمكن ترغيبه يكون قادراً على ترغيب تراكيب أخرى. والموجات المتتالية من الترغيب يمكن أن تعود إليها عمليات تكوين جنين حيواني كامل ومنظم النشأة.

وبعد اكتشاف سببان هذا بقليل، وجد أن صفات الترغيب في خلايا المنظم تبقى حتى بعد موت الخلايا، مما جعلنا نعتقد أن الترغيب يتم بمرور بعض المواد الكيميائية من المنظم إلى الخلايا المتأثرة. كما كان يظن أن المادة المرغبة تأمر الخلايا المتأثرة كي تنتظم وتتباين بطريقة معينة. وزودتنا هذه الفكرة بإجابة مقبولة لسؤالنا عن كيفية نشوء خلايا مختلفة من زيجوت واحد. ربما ينبه التركيب العجيب لستوبلازم منطقة الهلال الرمادي خلايا البلاستولا الناتجة في تلك المنطقة لأفراز منظمات كيميائية خاصة، وبذلك يكون لتلك الخلايا تركيب خاص في الجنين ويمكن أن تصبح «المنظم»، وقد يأمر انتشار المواد الكيميائية منها الخلايا المتجاورة كي تنمو بطريقة خاصة، وينمو تلك الخلايا المتجاورة فأنها بدورها يمكنها أن تفرز مواداً مرغبة هي التي ستبرمج التباين في خلايا أخرى، وبهذه الطريقة يمكن بناء كل الجنين.

ويمثل هذه النظرية الجذابة، كان من الطبيعي القيام بكل المجهودات الممكنة لعزل وتعريف تلك المواد المرغبة، ليس فقط في أجنة البرمائيات ولكن في أحياء أخرى كذلك. وفي حالات كثيرة وجد أن الترغيب يمكنه أن يمر في حيز مملوء بالأجار - أجار،



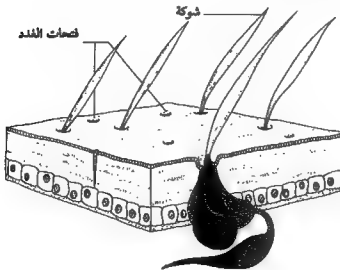
لكنه لا يمر في لوح من السيلوفان. ويدل هذا على تدخل جزيء كبير نسبيا في الموضوع، في الحقيقة، وأمكن الحصول على الترغيب في بعض الحالات معمليا بمعاملة الأنسجة بمكون بروتيني نقى نسبيا. وقدم بعض العلماء الدليل على أن الريبوبروتين النووي (Ribonucleoprotein) وهو مركب معقد من (RNA) والبروتين، ربما يكون له تلك الخواص الترغيبية.

ولو أن أغلب المواد المرغوبة تبدو أنها جزيئات كبيرة، إلا أنه توجد بعض الاستثناءات، إذ أن فيتامين أ، وهو جزيء صغير، يمكنه أحداث (ترغيب) النمو المثبط في خلايا البشرية في جنين الكتكوت. وجزيئات أخرى صغيرة مثل بعض الستيرويدات (Steroids) وحتى صبغة أزرق الميثيلين (وهي ليست من مكونات الخلايا العادية) يمكنها الترغيب في تكوين الثنيات العصبية في جنين البرمائيات. والتغيرات الناتجة عن هذا الترغيب الذي تحدثه تلك الجزيئات الصغيرة لا تكون متقنة مثل تغيرات الترغيب الذي تحدثه البروتينات. فأزرق الميثيلين يحول ببساطة نمو البشرية إلى الانبوية العصبية وكلاهما مركبات إكتودرمية. ويمكن للترغيب بالجزيئات الكبيرة، من جهة أخرى، تحویل الخلايا والتي كانت مستنمو إلى مكونات إكتودرمية إلى أنسجة ميزودرمية مثل العضل، بل وحتى إلى أنسجة أندودرمية.

ويبدو كذلك أن تباين الخلايا يتأثر بمواد مانعة (Inhibitory) تصل إليها من الخلايا المجاورة، فإذا ما وضعت أجنة ناشئة من أجنة الضفادع في بيئات تحتوي على قطع من قلب ضفدعة بالغة، تفشل تلك الأجنة في إنتاج قلب عادي. وبنفس الطريقة، إذا ما ربيت الأجنة في بيئة بها قطعة من مخ ضفدعة بالغة، فإنها تفشل أيضا في إنتاج مخ عادي. وهذا ما يجعلنا نعتقد بأن الخلايا المتباينة يمكنها إنتاج مواد تمنع الخلايا المجاورة من التباين بنفس الطريقة. وبكل تأكيد فإن هذا هو ما يحدث في أعضاء الحيوانات البالغة، فالأنسجة المتباينة تفرز موادا (بروتينات، أو بولي بيتيدات) تسمى شالونات (Chalones) تمنع الأقسام الغير مباشر لخلايا هذا النسيج. وبسبب الدور الذي تلعبه هذه الشالونات في تصحيح (علاج) الأنسجة، فستناول الحديث عن مواد الشالونات بالتفصيل في الباب التالي، وعما إذا كانت مواد الشالونات هذه تعمل كمانعات في النشوء الجنيني فستبقى هذه المعلومة للمعرفة فيما بعد. وعلى أية حال، فإن مثل هذه الظاهرة تكون هي المسئولة عن الحقيقة الدالة على أنه كلما تقدم النمو الجنيني، كلما

أنفصلت بقوة الأجهزة المتكونة من بعضها البعض، وتكون مسئلة كذلك عن التوزيع المتساوي للوحدات المتكررة في كثير من الأجهزة. وعلى سبيل المثال، فإن سطح جسم يرقة (أي حورية) البقة المقبلة (Kissing Bug) وهي بقة الروندياس (Rhodnius) يكون مغطى بمستقبلات حسية وغدد على مسافات متساوية (الشكل ١٨-١٧). فإذا مادمرت مجموعة من تلك المستقبلات والغدد في منطقة ما على جدار سطح الجسم (على سبيل المثال، بوضع إبرة ساخنة على سطح الجسم) يحدث على الفور تباين لخلايا مجددة في نفس المكان، وتعمل تلك الخلايا المجددة على بناء المستقبلات الحسية والغدد من جديد وينفس المسافات العادية فيما بينها. ولا يحدث أن تتكون مستقبلات أو غدد بجانب بعضها البعض مباشرة (أي متلاصقة). ولربما يكون السبب في ذلك أنه كلما تنمو غدة أو مستقبل حسى فإنها أي الغدة أو المستقبل الحسى، تفرز مادة مانعة تمنع الخلايا القريبة من أن تنمو بنفس الطريقة.

وأصبح واضحاً الآن أكثر من ذي قبل، بأن مسار النمو الجنيني لا يعتمد فقط على تروغيب أو منع بعض الخلايا أخرى، بل على التداخلات الموجودة بين مجاميع من الخلايا. وعلى سبيل المثال، فلكى يتباين الميزودرم الموجود في الأطراف الناشئة للجنين فإنه يحتاج إلى أكتودرم نشط فوقه. وعلى الوجه الآخر، يعتمد التباين المستمر لهذا الأكتودرم على استمرارية نشاط الميزودرم الموجود تحته. لهذا، فلربما لا يعتمد النشوء الجنيني العادى كثيراً على مرور مادة منبهة أو مانعة خاصة من نسيج إلى آخر، بل يعتمد على التبادل المحكم للمواد بين النسيجين.



الشكل ١٨-١٧.  
تنمو كلا المستقبلات  
الميكانيكية والغدد في  
جدار جسم بقة  
الروندياس على أبعاد  
متساوية من بعضها  
البعض.

وبحاج نشوء أنابيب كلية الفأر إلى نوعين من الخلايا المتباينة، أحد هذين النوعين هو الذي يصنع الجزء الجامع من الأنباب، والثاني يصنع الجزء المفرز من الأنباب. ومن الممكن تنشئة، عن طريق زراعة الأنسجة، الخلايا الجنينية والتي تعطى في العادة كلا من هذه الأشكال المتباينة. وعند نموها بمفردها، فإن تلك الخلايا الجنينية تفشل في إعطاء أي شيء، حتى ولو زودت بخلاصة الأشكال الأخرى من الخلايا، ولكن إذا ما سمح للنوعين من الخلايا المتباينة السابق ذكرهما بالنمو سوياً، فإن كلا منهما تستمر في التباين إلى شكلها البالغ، ولا يتباين النوعان بنجاح فقط، بل إنها يستمران في تنظيم نفسيهما ليصبحا أنابيب الكلية المعروفة.

و على العموم، إذا ما تمت زراعة خلايا من نسيجين ليست بينها أية صلة، فإن هذين النوعين من الخلايا يرتبان نفسيهما ويتحدان ليكونا أنسجة معروفة، وأمكن تطعيم بعض من هذه الخلايا بنجاح في أجسام بالغة وقامت بوظائفها جيداً.

وتعتمد قدرة خليتين متشابهتين على معرفة بعضهما على وجود مواد خاصة على سطحهما. وكما رأينا من قبل، تهاجر الخلايا الجنينية بكثرة، خاصة أثناء عملية التشكل (Morphogenesis)، وعندما تصل تلك الخلايا إلى مقرها الأخير، فإنها تلتصق بخلايا أخرى متشابهة، ولربما بواسطة خاصية اللصق لتلك المواد الموجودة على أسطح الخلايا. وبمجرد تجاور تلك الخلايا لبعضها البعض تنشأ فراغات (أنظر قسم ٥-٢٤) بين أغشية هذه الخلايا لإيجاد محرات سهلة تسير خلالها الأيونات، والشحنات الكهربائية، والجزيئات المعتدلة الكبر، وبهذا يكون لكل خلية وسيلة لمعرفة ما يحدث للخلايا المجاورة. ومن الأشياء المشوقة حقاً أن خلايا السرطان تنقصها تلك المواد اللاصقة الموجودة على أسطح الخلايا ولا يمكنها التعرف على الخلايا المجاورة أو حتى على إيقاف هجرتها أو انقسامها، وبهذا تنجو من الضوابط التي تنظم الخلايا العادية في الجسم.

ولو أن المواد الموجودة والتي تمر من خلية إلى أخرى قد تكون متخصصة أو عامة في عملها، فإنه يبدو من الواضح أن ما تفعله خلية متباينة يكون مبرحاً بواسطة جيناتها نفسها، وليس بواسطة جينات الأنسجة المجاورة. ولقد أوضحت إحدى التجارب والدراسات التي قام بها أحد تلامذة سيبيان، وهو أوسكار شوتي (Oscar Schottee) بطريقة حية حقيقة هذه النقطة الهامة.

ولريقة حيوان السلامندر أسنان عظمية، وعضو توازن على كل جانب من جانبي الرأس. ولفرخ الضفدعة أسنان قرنية وخياشيم خارجية على جانبي الرأس. ولقد أخذ العالم شوتي قطعة من النسيج، والتي ستصبح مستقبلا جلد البطن، من جنين ضفدعة وطعمها أي غرسها في جزء من جنين السلامندر الذي سيصبح مستقبلا الفم وأعضاء التوازن، فاستمرت قطعة نسيج جنين الضفدعة في النمو جيدا وهي في مكانها الجديد، ولكن ما حدث هو أن الفم الذي تكون كانت أسنانه قرنية وهي من خواص فرخ الضفدعة، وبدلا من أعضاء التوازن تكونت خياشيم خارجية.

والمادة المرغبة (Inducing) التي يفرزها السلامندر لا بد وأن تكون هي المسؤولة عن تحول مضير ما كان يجب أن يكون نسيجاً لبطن الضفدعة. وعلى أي حال، فالتعليقات المعطاه بتلك المادة المرغبة لا بد وأنها كانت عامة، إذ بدلا من البرمجة لنمو أجزاء السلامندر، يبدو أنها أصدرت الأوامر للنسيج المنزوع بأن يستخدم جيناته الخاصة، ولو أن ذلك كان أيضا مناسباً للمكان الجديد. لذلك يجب أن نبحث عن التحكم النهائي للتباين ليس في أي نسيج منظم ولكن في النسيج الذي يحدث به رد الفعل نفسه. وإذا ما وضع إنسان في الحسبان العدد الكبير من المواد، حتى الجزئيات البسيطة مثل أزرق الميثيلين، التي يمكنها ترغيب تكوين الثنيات العصبية في جنين الضفدعة، يمكن التأكد في البداية من أن النسيج الذي يحدث به رد الفعل يحتوي على كل المعلومات المطلوبة للتخصص واحتاج ببساطة إلى بعض المؤثرات الغير متخصصة نسبيا كي يتمكن من فعل ذلك. وبذلك فأننا مازلنا نواجه المشكلة الرئيسية في هذا الباب وهي: ما الذي جعل خلية في عضو ناشئ تعبر عن بعض جيناتها (مثل الجينات المشتركة في بناء الفكوك القرنية أو الخياشيم الخارجية) وليس البعض الآخر (في مثالنا هنا تلك الجينات المسؤولة عن جلد البطن)؟

#### ١٨-٨: قابلية التباين للإنعكاس:

#### THE REVERSIBILITY OF DIFFERENTIATION

وتتقدم النشوء الجنيني، فان مقدرة قطعة نسيج الجنين على تغيير مستقبلها بزراعتها في أماكن أخرى يصبح محدودة، إذ تصبح خلايا هذه القطعة بالتدرج أقل مرونة في جهدا. ولطالما ابتدأت عملية الأنواع (Gastrulation) على سبيل المثال، فان خلايا طبقة من أحد الأنسجة لا يمكن أن تتبدل عامة إلى خلايا نسيج آخر. وتبدل جهد جلد

البطن إلى أجزاء فم أو إلى عدسة عين (الشكل ١٨-١٦) يتطلب ببساطة التبدل من نوع من أنواع الأكتودرم إلى آخر. وفيما بعد فإن عدد التبادلات والقابلية لتباين الخلايا تقل أكثر. وأخيراً، تصبح الخلايا مؤهلة للدخول في مصير نهائي. فإذا ما زرعت تلك الخلايا بعد هذا الوقت، فهي تستمر في النمو كما لو كانت في موضعها القديم، وليس بطريقة مناسبة للموقع الجديد. وعلى سبيل المثال، فإذا ما أزيلت براعم الأطراف من جنين سلامندر وطعمت (زرعت) على جنين سلامندر آخر، فإن تلك البراعم تكون أرجلاً إضافية على العائل، وهذا يحدث حتى لو كانت خلايا برعم الطرف غير واضحة التباين.

وهل يمكن عكس (أي انتكاسة) الاستمرارية في الفقد في جهد الخلايا المتباينة؟ لهذا السؤال في الحقيقة شقين، إذ تدل أعمال برجز، كنج (Briggs & King) وكذلك جوردون (Gurdon) التي ذكرناها من قبل في هذا الباب، على أن الأنوية قد لا تفقد جهدها التام في إحداث النمو. ولكن ماذا عن خلية متباينة - نواة منغمسة داخل سيتوبلازم متخصص؟ وكما يشاهد من الشكل (١٨-٨) فإن خلية متباينة واحدة من النبات يمكن إجبارها على الرجوع عن التباين، وبذلك تدخل سلالتها في ممرات جديدة من التباين بالغة الدورة في نبات كامل.

والموقف في الحيوانات ليس بهذه الكيفية من الوضوح. فالحيوان المجروح سرعان ما ينتج كتلة من الخلايا المتباينة على جانب الجرح، وبالتدريج تدخل هذه الخلايا الممرات المختلفة من التباين لشفاء الجرح - أي إنتاج تراكيب متباينة جديدة (مثل البشرة، الشعيرات الدموية) والتي تتلاءم مع التراكيب المتباينة من قبل عند حواف الجرح. والدليل قوي على أن الخلايا التي انعكس (أي انتكس) تباينها والتي بدأت في عملية الشفاء (الأبراء) ماهي إلا سلالات خلايا كانت بالفعل كاملة التباين ولكنها أصبحت الآن منعكسة التباين. ولكن الغير واضح هو إلى أي مدى يمكن للخلايا المنعكسة التباين هذه الدخول في أي عمر من ممرات التباين خلاف العمر الذي أمكنها أو أمكن لسلالتها أن تعكس. وفي كلمات أخرى، فإن خلية عضلية ملساء (في عضل غير إرادي) عكست تباينها قد تكون محصورة فقط كي تدخل ثانية في عمر التباين المؤدي إلى خلية عضلية ملساء أخرى.

## ملخص الباب

## CHAPTER SUMMARY

البويضات (Oocytes) في جسم امرأة صغيرة السن هي أحد الأمثلة من مائة نوع مختلف من الخلايا والتي تتكون منها بعض الخلايا الأخرى (مثل خلايا العضلات وخلايا الدم الحمراء) تم وصفها باختصار في الباب الخامس. وواضح أن كل نوع من الخلايا يختلف في تركيبه عن غيره. فخلايا الدم الحمراء عبارة عن أسطوانات صغيرة تحتوي على نواه، وخلايا العضل الأملس (الغير إرادي) مغزلية الشكل، وهكذا، كل نوع من الخلايا له وظيفته الخاصة التي يقوم بها. فخلايا الدم الحمراء تنقل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون، وخلايا العضل الأملس تنقبض، ويفعلها هذا تقلل من قطر الأعضاء المجوفة كالثلاثة والأوعية الدموية. وأخيرا، فإن كثيرا من هذه الأنواع من الخلايا تمتاز بأحتوائها على نوع معين من البروتين أو البروتينات. فخلية الدم الحمراء مملوءة بالهيموجلوبين، وخلية العضل الأملس تحتوي على بروتينين قابلين للأنقباض هما الأكتين (Actin) والميوسين (Myosin)

فمن أين أتت هذه الخلايا؟ الجواب النهائي هو نفس الشيء بالنسبة لهم جميعا، فهي (أي الخلايا) سلالات من بيضة مخصبة والتي كلنا نبدأ بها. فنشوء بيضة مخصبة إلى طفل يتطلب نحو ٤١ دورة من الانقسام الغير مباشر ( $2^1 = 2, 2 \times 10^1$ )، ولكنها تحتاج إلى أكثر من ذلك. فالخلايا البنوية (Daughter cells) الناتجة عن هذه الانقسامات الغير مباشرة لابد من أن تبدأ الدخول في ممرات منفصلة من النشوء : فبعضها يصبح خلايا دم حمراء، والبعض سيصبح بويضات (Oocytes) والبعض الآخر سيصبح خلايا عضلية ملساء، الخ. وهذه هي عملية التباين أو التميز (Differentiation) التي ينتج عنها تكوين سلالات غير متشابهة من الخلايا من خلايا متشابهة رائدة.

ولقد نأكدنا أن جميع الخلايا المتباينة في الجسم تحتفظ بكامل المجموع الجيني (جينوم) للنوع. ولهذا يجب أن نستخلص أنه أثناء عملية التباين، فإن كل خلية تصبح ملتزمة بالتعبير عن جزء من الجينوم الموجود في نواتها. فكيف نفسر النشاط التبايني للجينات الذي يظهر كلما تحولت الخلايا إلى عرات منفصلة للتباين؟

فالمشكلة إذن هي إنشاء طريق يمكن خلطيتين ناشئتين عن الانقسام الغير مباشر أن يكونا نماذج مختلفة من النشاط الجيني بينما يقتسمان معلومات جينية متماثلة . والحل المناسب لهذه المشكلة هو وجود بيئات سيتوبلازمية مختلفة حول الأنوية المتماثلة . ولقد فحصنا الدليل المحير وهو أن قدرة النواه لإبداء معلوماتها الجينية يتحكم فيها السيتوبلازم الخاص الذي توجد فيه تلك النواه . وأثناء أطوار الانشقاق الأولى ، نجد الأنوية المتماثلة الناجمة عن الانقسام الغير مباشر نفسها منفصلة بحواجز (جدر الخلايا) في سيتوبلازومات مختلفة . وفي أغلب الأحوال ، تتكون هذه السيتوبلازومات المختلفة نتيجة التوزيع الغير متجانس للمواد السيتوبلازمية في البويضة المنشقة . وبمجرد ثبات هذه الاختلافات ، تصبح مشكلتنا من المسائل التي يمكن حل تفاصيلها الناجمة ببساطة . وبمخلوط واحد من النواه والسيتوبلازم يمكن التعبير عن جينات معينة ، بينما يعبر مخلوط آخر عن جينات أخرى ، والمجال يكون معدا الآن لخطوات معقدة تالية .

وربما يكون أحد عواقب تعبير التباين الجيني أثناء النشوء هو في إرسال أو استلام إشارات كيميائية (مثل المواد المرغوبة والمساه شالونات Chalone) بين نوع من الخلايا ونوع آخر . ومثل تلك الإشارات قد توجه بعد ذلك الخلايا التي تستجيب لها حتى تذهب لمنطقة معينة من الجينات لاستخدامها في شكلها ووظيفتها المتباينة في النهاية . وبينما توجد تفاصيل أخرى تتطلب البحث (على سبيل المثال ، جهلنا الكبير بالطبيعة الكيميائية للإشارات المرغوبة) فإننا على الأقل نستطيع الآن أن نرى نظريا كيف يمكن لخلية واحدة ، وهي البويضة المخصبة ، أن تعطي بالتالي أشد الآلات تعقيدا ، ألا وهو الجسم البالغ .

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ — مم ينشأ العصب البصري في طبقة الجنين الجرثومية؟
- ٢ — ميز بين التوائم المتماثلة والتوائم الأخوية؟
- ٣ — فرخ الضفدعة المستعد للفقس يكون أكبر حجما من البويضة المخصبة ، ما الذي يترتب على ذلك؟
- ٤ — تلد إناث الأرماديلو دائما أربعة صغار من نفس الجنس ، ما تفسير ذلك؟

## REFERENCES

## المراجع :

- 1- WOLPERT, L., The Development of pattern and Form in Animals, Oxford Biology Readers, No. 51, Oxford University Press, Oxford, 1974.
- 2- STEWARD, F.C., "The Control of Growth in Plant Cells." Scientific American, Offprint No. 167, October, 1963.
- 3- SPEMAN, H., "The Development of Lateral and Dorso-ventral Embryo Halves with Delayed Nuclear Supply," Great Experiments in Biology, ed. by M. L. Gabriel and S. Fogel, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1955. A description of two of the author's famous experiments with constricted newt eggs.
- 4- GURDON, J. B., "Transplanted Nuclei and Cell Differentiation," Scientific American, Offprint No. 1128, December, 1968.
- 5- KIRSCHNER, M. W., and J. C. GERHART, "Spatial and Temporal Changes in the Amphibian Egg," Biol. SCIENCE, 31; 381, May, 1981. Describes how the point at which the sperm enters the egg establishes the axis bilateral symmetry of the developing embryo.
- 6- GURDON, J. B., Gene Expression During Cell Differentiation, Oxford Biology Readers, No. 25, Oxford University Press, Oxford, 1973.
- 7- MARKERT, C. L., and H. URSprung, Development Genetics, Foundations of Developmental Biology Series, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1971. Chapter 6 deals with the ploytene chromosomes.
- 8- BEERMANN, W., and U. CLEVER, "Chromosomes Puffs," Scientific American Offprint No. 180, April, 1964.
- 9- EBERT, J. D., and I. M. SUSSEX, Interacting Systems in Development, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1970. An excellent treatment of the subject, available in paperback.



## CHAPTER 19

## الباب التاسع عشر

### LATER DEVELOPMENT      النشأة المتقدمة

GROWTH	النمو	١-١٩
REGENERATION	التجدد	٢-١٩
CANCER	السرطان	
THE BIOLOGY OF CANCER	بيولوجية السرطان	٣-١٩
CANCER ARE CLONES	السرطانات هي مجاميع متماثلة	
WHAT CAUSES CANCERS	ما الذي يسبب السرطان؟	٤-١٩
CANCER INVOLVES A GENETIC CHANGE	١- السرطان يتضمن تغير وراثي	
CARCINOGENIC AGENTS	٢- العوامل المسببة للسرطان	
AGING	الشيخوخة	
AGING - THE FACTS	الشيخوخة - الحقائق	٥-١٩
AGING - THE THEORIES	الشيخوخة - النظريات	٦-١٩
DEATH	الموت	٧-١٩
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب	
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل	
REFERENCES	المراجع	



## الباب التاسع عشر

### النشأة المتقدمة

GROWTH

١٩-١. النمو:

لا يتوقف نمو النبات والحيوان على عمليتي التشكل والتباين، إذ يحتاج النمو كذلك الى الزيادة في حجم الكائن، أي نموه. وفي الحيوانات، يحدث أغلب النمو بعد استكمال عمليتي التشكل والتباين، ولا بد من تكملة هاتين العمليتين في جنين الإنسان بوصول الجنين الى وزن ١,٥ جرام، وقد يزداد هذا الوزن، على أية حال، إلى ٤٥,٠٠٠ مرة من الوزن السابق المذكور قبل بلوغ الإنسان حجمه البالغ. وربما تذكر كذلك أن فرخ الضفدعة حديث الفقس يكبر بقليل حجم بيضة الضفدعة الأصلية.

و يحدث في النباتات تداخل كبير في هاتين العمليتين الحيويتين، إذ يسبق النمو الطرفي (في منطقة الإستطالة في الجذور والسيقان) التكل والتباين. وعلى أية حال، يحدث نمو السمك في الساق عن طريق كبر حجم الخلايا بعد إنتهاء التشكل والتباين.

وكي يحدث النمو، فإن معدل تخليق الجزيئات المعقدة للعضو، البروتينات، على سبيل المثال، لا بد من أن يزيد عن معدل تكسرها، وهذا يعني الزيادة في تزويد الكائن بالجزيئات (مثل الأحماض الأمينية، والأحماض الدهنية، والجليسيرول، والجلوكوز) والتي لا بد من أن يحصل عليها الكائن من بيئته. وبعض هذه المواد تمد الكائن بالبنية الأساسية اللازمة لبنائه، والبعض الآخر تمده بالطاقة الزائدة التي يحتاج إليها كي يتم بناء بنية الأساسية. ففي الكائنات التي تحتاج الى البناء الضوئي، يزود الضوء الكائن بالطاقة اللازمة لبنائه، والجزيئات الغير عضوية هي المواد الأولية.

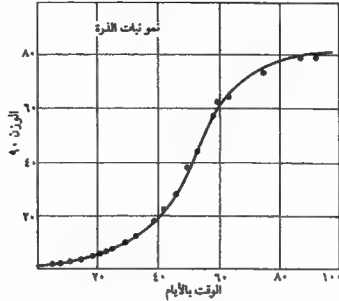
لذلك يحتاج موادا من البيئة أكثر مما يعطيه هو للبيئة في شكل متخلفات نواتجه الهضمية، وليست هذه عملية تراكم بسيطة. فالأحماض الأمينية التي تمثلها في جسمك بعد وجبة من لحم البقر لا تتجمع ثانية في خلايا جسمك في شكل بروتين بقرى، ولكن بدلا من ذلك فأنت تنمو بسبب تحويلك جزيئات عضوية غير متخصصة نسبيا أخذت من بيتك ودخلت على هيئة مواد متخصصة لخلاياك والمميزة لشخصك أنت.

والكائنات ذاتية التغذية أكثر غرابة في هذا الشأن، فلنرى تنمو، فهي تحول المواد الغير عضوية التي أخذتها من بيئتها (مثل الماء، وثاني أكسيد الكربون والنيتراتات) إلى تراكيب خاصة والتي ستكون شجرة الأسفندان (Maple) أو نبات ذرة، أو غير ذلك. وهذه القدرة لكل الكائنات الحية لبناء أعضائها الخاصة والمعقدة من مواد بسيطة نسبيا وغير منظمة موجودة في بيئتها هي القدرة على النمو، وهي أحد أهم الصفات المميزة للحياة.

وقد يحدث النمو ببساطة في الكائنات بزيادة عدد الخلايا التي تصنع تلك الكائنات. ويتكون جسم الإنسان البالغ من ٦٠ تريليون (٦ × ١٠<sup>١٢</sup>) خلية، وقد يحدث النمو كذلك بسبب كبر حجم الخلايا التي تصنع الكائن، فالنباتات ذوات الفلقة الواحدة، الحالية من الكامبيوم، تنمو في السمك بنفس الطريقة. وعلى العموم، فإن الكائنات تنمو بطريقتين، الزيادة في عدد الخلايا والزيادة في حجم الخلايا. فالنمو في النباتات الخشبية ذوات الفلقتين يكون نتيجة للطريقتين السابقتين معا، إذ ينتج الكامبيوم والخلايا المرستيمية الطرفية خلايا جديدة، ثم بعد ذلك تكبر تلك الخلايا في الحجم وتباين.

ويمكن تمييز عدة فترات (Periods) في نمو الكائن (الشكل ١٩-١)، وأول تلك الفترات، والمسماه بفترة التأخر (الإعاققة) (lag period) وتتميز بنمو قليل أو حتى بعدم النمو بالمرء. وأثناء تلك الفترة، على أية حال، يستعد الكائن للنمو. فالبذرة تمتص الماء، استعدادا للأنبات، وخلية بكتيريا القولون *E. coli* تخلق الأنزيمات والتي تستطيع بها أن تهضم المواد الغذائية التي تحصل عليها، وكلا المثالان يعتبران ضمن فترة التأخر.

ويتبع فترة التأخر فترة النمو اللوغاريتمي (Logarithmic or exponential period)، ويبدأ النمو في تلك الفترة ببطء في أول الأمر، ولكن بعد ذلك يحدث النمو



الشكل ١٩-١٠  
تنقيط نمو نبات الذرة  
يستج قوسا على شكل  
حرف S (أو سيجما).

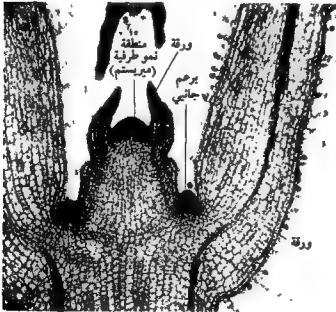
بسرعة أكبر فأكبر. ويمكن تفهم معدل السرعة التدريجي هذا في النمو إذا ما تذكرنا أنه في معظم الحالات، أن نواتج النمو، وهي مواد حية، تكون قادرة في حد ذاتها على المزيد من النمو. وعلى ذلك فإن الكائن يكبر طبقا لمتوالية هندسية (Geometric progression) أي يتضاعف ثم يتضاعف ثانية في الحجم. ويعبر عن هذا التسلسل جبريا بعلامات (الأس) (اللوغاريتمات)، لذلك سميت هذه بفترة النمو اللوغاريتمي. وتختلف الكائنات المختلفة كثيرا في الوقت الذي تستغرقه لمضاعفة حجمها. ففترة الذبابة المنزلية حديثة الفقس تضاعف وزنها في مدة ١٣ ساعة، ويحتاج الطفل حديث الولادة إلى ٥-٦ أشهر ليضاعف من وزنه. ومهما كان الوقت الذي تستغرقه هذه الفترة، فإن جميع الكائنات تمر في فترة تزايد ثابت في الحجم.

ولا تستمر فترة النمو اللوغاريتمي على الدوام، بل إن عدم إستمراريتها هذا أفضل فالذبابة المنزلية التي تضاعف من وزنها كل ١٣ ساعة، تكون مخلوقا رهيبا حقا بعد عدة أيام. ولحسن الحظ، فإن يرقه الذبابة (وكذلك كل الكائنات النامية) تدخل بعد ذلك بسرعة في فترة الأبطاء (Decelerating period). فالنمو الآن يتقدم ببطء أكثر وأخيرا يتوقف كلية. وفي هذا الوقت تجهز اليرقة نفسها للتطور. وفي كثير من الكائنات، يبطؤ معدل النمو ولكن لا ينقطع كلية. فالكثير من الأسماك والزواحف تستمر في النمو سنة بعد أخرى، ولو أن ذلك يحدث ببطء أقل فأقل، إلى أن تموت أخيرا. ويوجد موقف

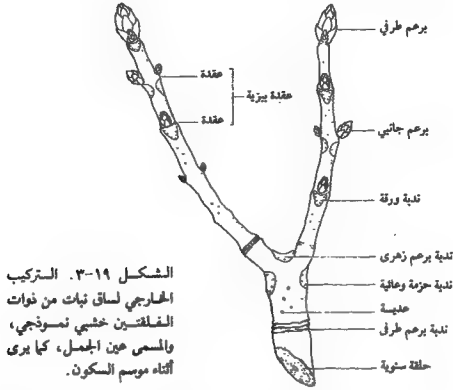
مشابه في الأشجار، التي تستمر في النمو إلا أن ينهى حياتها مرض أو حادث .

والثدييات، بما فيها الإنسان، تبلغ حججا معنا ثم تقف عن النمو كلية وعند هذا الوقت يتوازن تماما معدل تخليق المادة الحية عن طريق التجدد الخلوي في الجسم مع معدل تكسر تلك المواد وبنائها وتغيرها . وفي سنوات تالية، قد يدخل الإنسان فترة من النمو السليبي، أي، ينكمش، ثم تتكسر مكونات جسمه بسرعة أكبر من تخليقها .

وإذا ما قام فرد بعمل رسم بياني ليسين معدل نمو كائن واحد أثناء طوري الأسراع والأبطاء، فإنه ينتج عن هذا الرسم منحنى على شكل حرف (S) (الشكل ١٩-١). ومن الممتع ملاحظة أن هذا المنحنى نفسه يعبر عن نمو تعداد الكائنات . فإذا وضعت بعض البكتيريا أوزوج من الأرانب في بيئة مناسبة وغير مزدحمة، فأنها تنتج سلالات، وهذه السلالات بدورها تنتج سلالاتها، ويستمر ذلك في طريق مستمر إلى أن تضطرها عوامل خارجية على إبطاء معدل نمو هذه التعدادات . وتوجد لدى علماء الأحياء فكرة جيدة عن تلك العوامل الخارجية التي تتدخل في توازن النمو التعدادي وستقوم في الباب الأربعين بدراسة تلك العوامل . ولكن علماء الأحياء غير متاكدين من العوامل التي تبطيء من نمو الأفراد . إذ ريبا تختلف العوامل المتحكمة من مجموعة إلى أخرى من الكائنات . وعلى العموم، وحتى معرفة تلك العوامل، ستبقى فجوة في معلوماتنا عن النمو .



الشكل ١٩-٢ . برعم  
طرفي لساق *Coleus* ، مقطوع  
طوليا . تنتج خلايا جديدة  
بالانقسام الغير مباشر في  
الميرistem الطرفي . وبعد  
ذلك، قد يحدث التفرع عند  
البراعم الجانبية .



ويحدث النمو في النباتات أساساً من المناطق المرستيمية، وهنا يزود الأنقسام الغير مباشر السريع الخلايا الأضافية اللازمة. ويظهر الشكل (٩-٢) المنطقة المرستيمية عند طرف الجذر. ويمد المرستيم الخلايا الجديدة، والتي عندما تطول وتنبأين، تمكن الجذر من الزيادة في الطول. ويحدث نظام مماثل للنمو الطولي عند قمة الساق (الشكل ١٩-٢) وينتج عن الأنقسام الغير مباشر في المنطقة المرستيمية (الشكل ١٩-٢) عند طرف الجذر أو البرعم الطرفي مجموعة من الخلايا الجديدة، وتكون هذه الخلايا الأوراق دورياً. وتسمى نقطة خروج الأوراق من على الساق بالعقدة (Node) (الشكل ١٩-٣) والمسافة ما بين العقد في البرعم الطرفي قصيرة جداً، وعندها تنمو الأوراق بسرعة. ونتيجة لذلك، تنمو الأوراق فوق المرستيم الطرفي (الذي أنتج تلك الأوراق) لحمايته. وتنمو المرستيمات الجديدة، وهي البراعم الجانبية عند العقد وفوق نقطة اتصال ورقة مباشرة. وعند نمو تلك البراعم الجانبية، فإنها تغطي نسيج ساق جديد وبذلك تتكون الأفرع.

وتحت ظروف خاصة (والتي سنتناولها بالدراسة في الباب السادس والعشرين)،

يتحول المرستيم الطرفي إلى برعم زهري، وهذا ينمو إلى زهرة وبذلك يمكن للنبات أن يستمر في تكاثره الجنسي. وعملية تكوين البرعم الزهري «يستهلك» المرستيم الطرفي فيقف نمو الساق عند هذه النقطة. ويحدث التفرع (خروج الأفرع)، عموماً، من البراعم الجانبية الموجودة أسفل الزهرة مباشرة (الشكل ١٩-٣).

ولا يحدث النمو في الحيوانات في مثل تلك المناطق الموضعية كما في النباتات، إذ أن كل الأنسجة والأعضاء في جسم الحيوان تساهم في عملية النمو. ويوضح (الشكل ١٩-٤) مقدار سرعة نمو جذع وأطراف الإنسان من الطفولة إلى البلوغ والتي تكون أكثر من مقدار سرعة ونمو الرأس، والنتيجة هي تغير واضح في نسب الجسم.

ومن الأساسيات الضرورية لنمو الجسم هو نمو هيكله الدعامي، فالعظام قادرة على النمو والاستطالة ولكن فقط طالما كانت لديها منطقة غير عظمية غضروفية حيث يحدث تكاثر الخلايا والاستطالة. وفي العظام الطويلة، يحدث هذا عند خطوط الأطراف النهائية والموجودة خلف الأطراف النهائية الصلبة لتلك العظام.

وفي الإنسان، تصبح مناطق النمو في العظام متعظمة تماماً فيما بين العاشرة والعشرين من العمر، إذ يحل مكان المادة البينية للغضاريف في تلك المناطق مادة بينية (Matrix) عظمية ويقف أي نمو هيكل. ويحدث إيقاف النمو كذلك في الثدييات الأخرى ولكن في سن أصغر في العادة. ومن جهة أخرى، فإن الكثير من الأسماك والزواحف تستمر في نموها الهيكل طوال حياتها.

وتدعو مشكلة النمو إلى الاهتمام بتلك الحيوانات التي تقوم بظاهرة التطور، إذ تنشأ غالبية اللافقاريات المائية (مثل السمكة النجمية)، والبارناكلات (Barnacles)، وكثير من الفقاريات المائية (مثل الضفدعة)، وأغلب الحشرات من الزيجوت إلى يرقة (Larva) ويعد ذلك يحدث لليرقة تغيرات كبيرة من التطور ويخرج بعدها الجسم البالغ.



الشكل ١٩-٤. النمو التشكيلي في الإنسان. رأس الطفل تقريباً ١/٤ طول الجسم، بينما في الإنسان البالغ يكون طول الرأس نحو ١/٨ طول الجسم.



وأهمية طريقة النمو ذات الطورين (في الحيوانات ذات التطور) غير واضحة دائما. وللحيوانات أمثال البارناكلات والتي تكون أجسامها مثبتة، يسمح طورها اليرقي الذي يسبح بحرية في أنتشار تلك الحيوانات. وفي حالات مثل اللويستر والصفدعة، تعمل اليرقة كطور وسطي في النمو والذي عن طريقها (أي اليرقة) يمكن الحصول على الغذاء (غالباً تكون مكونات هذا الغذاء صغيرة الحجم جداً، مثل الطحالب وحيدة الخلايا) من البيئة، وهذا يسمح بمزيد من النمو أكثر مما كان يمكن الحصول عليه من نمويته مخزون الغذاء في البيضة نفسها، وبذلك يمكن للحيوان أن يصل إلى الحجم اللازم الذي يمكنه من تناول الغذاء الخاص بالطور البالغ.

وبينما تكون اليرقة إحدى أطوار النمو في الكثير من الحيوانات، إلا أنه لا يصح التفكير بأنها غير تامة النمو أو بأنها كائن جنيني. وعلى سبيل المثال، فيرقة فراشة الحدائق (من رتبة حرشفية الأجنحة التي تضم الفراشات وأبى دقيق) هي كائن متخصص، وهي كإحدى نواتج التشكل المتقنة وكاملة التباين في الخلايا فيما عدا في وجود كتل من الخلايا الجنينية المسماة Imaginal Discs (أي حلقات الحشرة الكاملة أو البالغة - Imago) بداخل جسمها. وأثناء التطور، تموت أغلب خلايا اليرقة المتخصصة، وتبدل تلك الخلايا الميتة بالغذاء الضروري لخلايا الحلقات المذكورة للقيام بنموذج جديد من التشكل والتباين، وتكون نتيجة ذلك تكون أعضاء الحشرة الكاملة (Adult) التي قد تكون فراشة أو أبى دقيق. ويحدث كل النمو في الحشرة أثناء طور اليرقة. وفي الحقيقة، فإن بعض الحشرات الكاملة لا تتغذى مطلقاً، فهي تزوج ثم تموت.

والسبب الآخر في اعتبار أن اليرقات لا يصح اعتبارها أشبكالا غير كاملة النمو هي وجود حالات تشمل أنواعاً هجرت ظاهرة التطور كلية. فالحيوان البرمائي المسمى أكسولوتل (Axolotl) والذي يوجد في المكسيك وجنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية، يقضى كل حياته كحيوان يتنفس عن طريق الخياشيم (الشكل ٢٧-٦) وهو يصل إلى النضوج الجنسي ويتزاوج بدون أن يقوم بعملية التطور إلى الشكل الذي يتنفس الهواء الجوى. وبينما لا يوجد أي دليل على أن حيوان الأكسولوتل هذا لن يقوم بأي عملية تطور ينتج عنه وجود مجموعة كاملة من الحيوانات، فإنه يوجد الدليل على أنه في الماضي، كانت اليرقات وليست الحيوانات البالغة، هي التي تطورت إلى أنواع

جديدة. وستقوم بفحص بعض من هذه الأدلة في أبواب لاحقة.

## REGENERATION

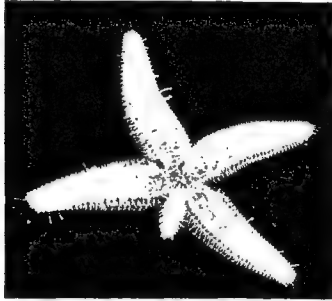
### ١٩-٢. التجدد :

أثناء حياة أي كائن، قد تتلف أو تفقد بعض أجزائه. وتملك أغلب الكائنات، لبعض الشيء، القدرة على إحلال تلك الأجزاء المفقودة أو التي أصابها التلف، وتعرف عملية الأحلال هذه بعملية التجدد (Regeneration) (الشكل ١٩-٥).

ولنباتات قدرة فائقة على التجدد، إذ أنه من الممكن في بعض الأحيان نزع أفرعها أو مجموعها الخضري بالتقليم. فإذا ما كان المجموع الجذري سليماً، فإن البراعم، على أية حال، تظهر سريعاً على الساق، فتنمو البراعم إلى أفرع جديدة، وأوراق، وأزهار. وفي الحقيقة، فإن كثيراً من الأخشاب الصلبة (شجر الأسفندنان Maple والبتولا Birch وغيرهما) يمكن قطعها من عند سطح الأرض، وبالعمل على إنباتها من عند حواف بقية الجزء المقطوع يمكنها إعطاء سيقان وأوراق جديدة.

وتختلف قدرة الحيوانات على تجديد الأجزاء الغائبة كثيراً من نوع إلى آخر. فالأسفنجيات يمكنها تجديد كل الكائنات من كتلة صغيرة من خلاياها، وينطبق نفس الشيء على الهيدرا. ويمكن لحيوان البلاتاريا تجديد نفسه بأكمله من قطعة وسطية منه، حتى سمكة النجمة، تستطيع تجديد نفسها كاملة من ذراع واحد والقرص الوسطى. وفي وقت من الأوقات كان صيادوا الأويستر يستخدمون شبكة (أوجرافة) لصيد سمك النجمة من أماكن وجودها، ثم تقطعها لقتلها، ثم قذف الأجزاء المقطوعة من على سطح المركب إلى البحر، وسرعان ما اكتشفوا - مع حزنهم الشديد - على مقدرة تلك الأجزاء المقطوعة على التجديد في هذه المجموعة من الحيوانات.

أما عن ديدان الأرض، والقشريات، والأسماك، والسماندر، والسلاحف، فهي لا تملك نفس القدرة على التجدد أي قدرتهم على تجديد كل الكائن من جزء صغير، ولكنها تملك القدرة على تجديد الأجزاء الأسامية نوعاً. فيمكن لدودة الأرض أن تجدد الحلقات الأربع أو الخمس الأولى من جهة الرأس وحتى جزء أطول من طرفها الخلفي. ويمكن للويستر والسماندر تجديد رجل غائبة، ويمكن للكثير من السلاحف الهرب إذا ما قطع ذيلها عند الإمساك به، ويعتقد يمكنها تجديد ذيل جديد عندما تريد. أما عن



الشكل ١٩-٥. ذراع  
السكة نجم البحر  
(بتصريح من دكتور تشارلز  
والكوت).

الطيور والثدييات فهي لا تستطيع تجديد أعضائها بأكملها، ولكنها تستطيع، على أية حال، تجديد الأنسجة وبذلك يمكنها إصلاح الأجزاء التالفة أو المفقودة. واندمال جروح الجلد وكسور العظام مثال واضح على التجدد في الإنسان. والأحلال المستمر لخلايا الدم الحمراء التالفة والخلايا الطلائية المتزوعة مثال آخر، كما أن الغدد الهضمية، وخاصة الكبد والبنكرياس، قادرة على التجدد بعد التلف.

مالذي يحدث إذن في عملية التجدد؟ إذا ما نزعنا الرجل الأمامية من حيوان السلامندر، فأول عملية إصلاح هي تجديد الجرح بواسطة نمو الجلد فوقه ثم يظهر برعم من الخلايا المتباينة، ولهذا البرعم نفس مظهر برعم الطرف في الجنين الناشئ. وربما تنشأ الخلايا الجنينية السريعة الانقسام والغير متخصصة لبرعم الطرف بسبب تباين خلايا متخصصة مثل خلايا العضلات وخلايا الغضاريف. والتباين يعني أن هذه الخلايا تفقد تركيبها التبايني قبل أن تتولى عملية التجدد. وبمرور الوقت، تصبح خلايا الطرف المتجدد منتظمة ومتباينة للمرة الثانية في العضل، والعظمة، وأنسجة أخرى والتي ستكون الرجل العاملة.

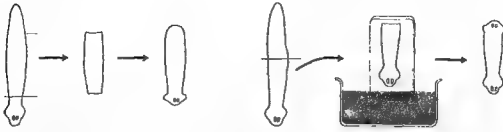
وأظهرت دراسات التجدد أن الخلايا الناضجة (البالغة) المتباينة لنسيج ما، مثل البشرة، يمكنها خلق وإفراز مادة تمنع نشاط الانقسام الغير مباشر للخلايا الصغيرة

لنفس النسيج . وتسمى تلك المادة شالون Chalone". وفي الأطوار المبكرة لعملية التجدد ، لا توجد خلايا ناضجة (بالغة) وبذلك لا يوجد مانع لانقسام الخلايا . وبمجرد تباین أنسجة العضو المتجدد، يبدأ إنتاج الشالون، وريبا، يبدأ الشالون هذا في إيقاف النمو للعضو المتجدد.

وفي الحقيقة ، فإن إنتاج الشالون بواسطة الخلايا المتباينة تبدو وكأنها ظاهرة عامة . وفي الحقيقة فإن كل نسيج تم إختباره (منها الكبد، والكلية، والرئة، والحالب، وفولكل الشعر، وخلايا الدم البيضاء) ينتج شالون يمنع الانقسام الغير مباشر في الخلايا الغير ناضجة لهذا النسيج وليس لنسيج آخر، ولا تضر تلك الشالونات بالأنشطة الأخرى لهذه الخلايا بأي حال من الأحوال . ولو أنه لم يمكن حتى الآن معرفة التركيب الكيميائي للشالونات، الا أنها تتصرف وكأنها بروتينات أو عديدات الببتيدات، ولو أن فعل الشالونات متخصص للغاية بالنسبة للنسيج ، ولكنه ليس كذلك بالنسبة للنوع . فشالون البشرة من حيوان ثديي (أو حتى من سمكة) يمكنه منع الانقسام الغير مباشر في بشرة حيوان ثديي آخر.

تشابه عملية التجدد مع عملية النشوء الجنيني من عدة نواحي، فمن سرعة الانقسام، ينشأ نظام معقد من الخلايا الغير متخصصة، ويتضمن هذا التشكل والتباين تماما كما يحدث في النشوء الجنيني . وتوجد، على أية حال، وسيلة واحدة على الأقل والتي فيها تختلف عملية التجدد عن عملية النشوء الجنيني، فهل يمكنك إذن التفكير في سبب ذلك؟

إن التشابه بين التجدد والنشوء الجنيني جعل علماء الأحياء يقومون بدراسة ظاهرة التجدد عليهم يتقهموا كيفية عمل النشوء الجنيني . وأظهر إكتشاف الاستقطاب وجود قوري منظمة محددة، ربما تكون كيميائية، تقوم بعملها في عمية التجدد . فقطاع وسطي في حيوان البلاتاريا سيجدد رأسا جديدة عند حافة نفس القطاع والتي كانت عندها رأس أصلا، كما سيجدد ذيل عند الطرف الآخر . ولقد وجد أن الخلايا الموجودة عند سطح القطع المتقدم ذات معدل تمثيل حيوي أعلى من تلك الموجودة عند الطرف الخلفي، ويبدو أن هذا الاختلاف في معدلات التمثيل الحيوي في خلايا القطعة المتجددة هو الذي يحدد الاستقطاب . وإذا، أبعد القطاع الخلفي لدودة ثم عوملت الرأس بعد ذلك بمحلول يحتوي على مانع للتمثيل الحيوي، فإن إستقطاب الدودة



الشكل ١٩-٦. التجرد في حيوان البلاتاريا. الى اليسار: كل سطح مقطوع من البلاتاريا ويتذكر استقطابه. الى اليمين: اذا وضعت رأس بلاتاريا مقطوع في آجار ثم تمس في ماء يحتوي على مائع للتمثيل الحيوي تنشأ رأس ثانية على سطحه المقطوع.

يمكن إرجاعة (عكسة) وعندئذ تتكون رأس ثانية عند الطرف الخلفي (الشكل ١٩-٦).

وبمقارنة القدرة التجديدية للحيوانات المختلفة، يبدو وكأنه توجد علاقة بين تعقيد الكائن وبين قدرته على التجرد. فالقوي في التجرد في الأسفنجيات كاملة تقريباً. وفي الإنسان، يكون التجرد محدداً في إصلاح بعض الأعضاء والأنسجة. وبالنسبة لنا نعرف لماذا تنعدم القوي التجديدية بزيادة التعقيدات في التركيب والفسولوجيا.

وبداخل كل كائن، على الأقل بين الفقاريات، يبدو وكأنه يوجد فقد متزايد على القدرة التجديدية بزيادة العمر. فعند ظهور أرجل في مبدأ الأمر على فراخ الضفدعة، يمكن تجديدها بسهولة إذا ما فقدت. وبعد التطور، تكون الضفدعة غير قادرة في العادة على تجديد الرجل المفقودة. ويعلم كل إنسان جيداً لماذا تشفى العظام المكسورة والجروح الجلدية في الطفل أسرع مما في الإنسان الأكبر سناً. وما هو المسبب إذن في فقد قوة التجرد كلما زاد السن؟ في الضفدعة، ربما لا يستطيع مكان البتر تلقي الكميات الكافية لبعض المواد التي تفرزها الأعصاب. فإذا ما أمكن إيصال أعصاب زائدة جراحياً الى مكان الجزء المقطوع من رجل الضفدعة الأمامية يحدث التجرد. ومن المعروف أن نسبة النسيج العصبي بالنسبة الى الأنسجة الأخرى تقل كلما نمت فراخ الضفدعة الى ضفدعة بالغة. فمن الممكن، إذن، قطع الرجل. وهذا بدوره يؤدي الى اقتراح شرح بديل، فربما يفقد النسيج المسن القدرة على الاستجابة للمواد المروجة (المشجعة) للتجديد والتي تفرزها الأعصاب. فإذا كانت هذه هي الحالة فيمكن لتهديج هذا النسيج أن يعيد إليه بعضاً من حساسيته.

## CANCER

## السرطان :

## ١٩-٣. حيوية (بيولوجية) السرطان : THE BIOLOGY OF CANCER

يقتل السرطان نحو ٤٠٠,٠٠٠ شخصا سنويا في الولايات المتحدة الأمريكية. ولربما تكون حياتك شخصا متأثرة بالفعل بأصابة أحد الأشخاص القريبين منك بالسرطان، وبالتأكيد سيحدث هذا في السنوات القادمة. ما هو السرطان إذن ولماذا أصبح مرضا منتشرا وخفيا؟

والسرطان هو أي تكاثر للخلايا لا نستطيع التحكم فيه. في بعض الخلايا يكون تكاثر الخلايا مرتفع جدا، ولكن ليس هذا هو الحال دائما. وماذا يميز السرطان عن طرق الانقسام العادي للخلايا، مثل تجديد الأنسجة المفقودة أو تكون نموات حميدة كالشامة مثلا، فهل إذن لا تتوقف خلايا السرطان عن الانقسام، وهذه هي الصفة التي تؤدي في الغالب إلى موت الضحية.

ويمثل السرطان الفشل العادي للتشكل والتباين. وعادة، فإن الخلية المنقسمة في النسيج «تعرف» سرعة انقسامها ومتى تقف عن الانقسام. وعلى سبيل المثال، فالخلايا الأساسية في نخاع العظام عادة ما تنتج خلايا دم كافية لاحتلال ماتم تدميره أو موته. ومعدل الانقسام الغير مباشر في الكبد العادية بطيء نسبيا، لكن إذا ما أبعدت قطعة من الكبد عن طريق الجراحة، فإن باقي الخلايا تبدأ طورا من التوالد السريع، ويستمر هذا التوالد إلى أن - وفقط إلى أن - يتم تجديد الكبد. ويمكننا الآن أن نخمن فقط عن كيفية معرفة النسيج بآتمام عملية تجديده، ولكن تبقى الحقيقة في أنه يعرف.

والتوالد (Proliferation)، والتشكل، والتباين في الخلايا العادية تحتاج أن تكون تلك الخلايا في موقع مناسب داخل الجسم. فإذا ما وصلت الخلايا الطلائية المنقسمة إلى نخاع العظام فأنها تتوقف عن الانقسام وتموت. وإذا ما حققت الخلايا الأساسية لنخاع العظام في حيوان تجارب (أو في إنسان) فإنها عملا جميع الجسم، ولكن فقط تلك الخلايا الأساسية لنخاع العظام التي تأوى إلى النخاع يمكنها أن تبدأ في الانقسام والتباين إلى خلايا دموية. ومن المعتقد أن هذا يحتاج إلى البيئة الصحيحة التي تعكس الإشارات المرضية الكيميائية. ولا تحتاج خلايا السرطان إلى مثل هذه الاحتياجات، فالسرطانات، كما سنرى، تبدأ دائما في بقعة واحدة، وهذا هو الورم

الأولى. ولكن بعد فترة من النمو الذي لا يمكن التحكم فيه (أنظر الشكل ٢١-٢٨)، تنزع الخلايا من الورم الأولى وتذهب إلى الليمف والدم للانتشار في أماكن أخرى من الجسم. وبينما لا تصلح كل تلك الأماكن الجديدة لخلايا السرطان، ولكن توجد أماكن أخرى تصلح لذلك وفيها تنمو الخلايا إلى أورام جديدة، وتعرف تلك الظاهرة باسم التورم أو ميتاستاسز Metastasis". وعلى سبيل المثال، فإن بعض هذه الأورام والتي تنشأ في الجلد وكذلك معظم الأورام التي تنشأ في الرئات غالباً ما تنتقل ظاهرة التورم بها إلى المخ، ولو أنه الآن حتى في الأماكن الغير مباشرة تستمر ظاهرة الميتاستاسز هذه في الانقسام لإظهار خواصها الأصلية، وهذه الميتاستاسز هي التي تؤدي بحياة المريض.

و تمثل السرطانات كذلك فشل التباين العادي، إذ لا تأخذ خلايا السرطان التراكيب والوظائف التي يتميز بها النسيج الذي نشأت منه هذه الخلايا السرطانية. ويمكن ملاحظة طبيعة عدم التباين في معظم الخلايا السرطانية في تركيبها الغير طبيعي وفي فقدانها المستمر لوظيفتها التباينية. وبعض السرطانات، على أية حال، تستمر في تصنيع منتجات تتميز بها الخلايا المتباينة للنسيج الذي نشأت منه تلك الخلايا السرطانية وعلى ذلك فإن السرطانات الناشئة في أحد الأنسجة الصماء عادة ماتستمر في إفراز هرموناتها، كذلك فإن الخلايا المكونة للأجسام المضادة والتي تصاب بالسرطان قد تستمر في تصنيع أجسامها المضادة.

ولربما كانت الخلايا السرطانية هي خلايا إرتدت عن التباين، أي أنها إرتدت من حالة التباين إلى الحالة الجنينية الغير متباينة (مثل الخلايا المستخدمة في تجديد الجروح - أنظر رقم ١٩-٢). وأحد أسباب اعتبار الخلايا السرطانية أنها خلايا فقدت تباينها أنها تحتوي على البروتينات المميزة للأنسجة الجنينية. وألفا فيتوبروتين (AFP) وكذلك (CEA) Carcinoembryonic antigen هما من تلك البروتينات المذكورة، وكلاهما يتم إنتاجه بكميات بواسطة بعض أنواع السرطانات.

وتوجد، على أية حال، طريقة أخرى لرؤية التركيب والوظيفة الغير متباينتين لخلايا السرطان. ويحدث تحول الخلية العادية إلى خلية سرطانية في أغلب سرطانات خلايا الدم (مثل اللوكيميا Leukemia) والخلايا الطلائية مثل السرطان المعروف باسم (Carcinoma) والأنسجة المتجددة من جميع الأنواع لمى أكثر انتشاراً بشكل كبير عن سرطانات الخلايا التي لا تنقسم أمثال الخلايا العضلية والخلايا العصبية. ولكن الخلايا المنقسمة تعتبر

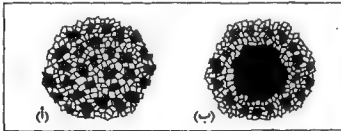
بطبيعتها غير متباينة أو متباينة جزئيا . وعلى هذا فلربما كانت الخلايا السرطانية في الحقيقة خلايا لم تفقد وظيفتها المتباينة بل هي ببساطة خلايا تشبه الخلايا الأساسية (خلايا الأصل) (Stem-like) ولكنها أصبحت مكبوتة أوفقدت ظاهرة النمو . والبروتينات الجنينية مثل (AFP) ، (CEA) ربما لا تعكس كونها أنسجة جنينية بهذا الشكل ، بل ببساطة تعكس خواص الخلايا الغير متباينة ، حتى إذا ما حدث هذا في طور البالغ بأعداد صغيرة أو كما في الجنين بأعداد كبيرة . وفي الحقيقة ، توجد كميات صغيرة من (AFP) ، (CEA) في البالغين العاديين .

#### CANCERS ARE CLONES

#### السرطانات هي مجاميع متماثلة

يبدأ كل سرطان بخلية واحدة ، مهما كان سبب تحول الخلية العادية إلى خلية سرطانية ، فإن الخلية السرطانية لا تهاجم كتل الخلايا بنفس الطريقة ، على سبيل المثال ، الذي تهاجم به العدوى بأى مرض لهذه الكتل من الخلايا ، ولو أنه في الأطوار النهائية للسرطان ، قد يمتلئ الجسم ببلالين الخلايا السرطانية ، وكلها سلالة خلية واحدة بادئة . ولهذا فكل خلايا أي سرطان ، في الميتاستاسز (Metastases) وكذلك في الورم الأولي ، تتكون من مجموعة متماثلة (Clone) .

ولنختبر الآن دليلين يؤيدان بقوة طبيعة الكلون في السرطان . ويمكنك إسترجاع ذلك في أنثى الديدانيات ، حيث يوجد X كروموسوم واحد غير نشط في كل خلية . وأي



الشكل ١٩-٧ .

السرطانات هي مجاميع من الخلايا المتماثلة (أ) بسبب عدم نشاط - X ، أنسجة أنثى

الديدانيات هي موزايك لخواص يتحكم فيها الكروموسوم X (أنظر قسم ٣-١١) . يتكون النسيج الطبيعي من مجاميع صغيرة من الخلايا الناشئة عن خلية واحدة معمرة عن واحد أو آخر من كروموسومات X . (ب) السرطانات ليست موزاكية ، كل خلايا الورم السرطاني في أنثى الثدييات تعبر عن نفس الكروموسوم X . وهذا يقترح أن كل خلايا السرطان ناشئة عن خلية واحدة ، أي صانعة كلون . وأنواع أخرى من الألة ( كما في شكل ١٩-٨ ) تدل على أن السرطانات في الذكور هي كلونات أيضا .



x كروموسوم غير نشط في خلية من الخلايا (سواء أكان أنثى أو ذكر) لهو من قبيل الصدفة كلية. ويبدأ عدم نشاط (خول) كروموسوم (x) مبكراً في النشوء الجنيني وغير قابل للأرتداد. فإذا كانت الانثى متباينة اللاقحة (Heterozygous) لجين موجود على الكروموسوم (x) فإن أنسجة جسمها ستصبح كالفسيفساء (Mosaic) بالنسبة إلى أداء هذا الجين، أي يمكن القول، بأنه في أي نسج من جسمها، توجد كتل صغيرة من الخلايا صغيرة عن أن أحد أزواج الجينات المتضادة (Alleles) سيندمج مع كتل صغيرة من الخلايا المعبرة عن الأخرى (الشكل ١٩-٧). وعلى أية حال، عندما يصيب السرطان هذه الأنثى، فإن كل خلية في السرطان مهما كان كبر الورم أو كم عدد الميتاستيزس التي كونها - تعبر عن نفس الجين المتضاد. ويمكن تفسير هذا السلوك بانشقاق كل خلية من سرطان هذه الأنثى من خلية واحدة أساسية والتي تكونت في مبدأ الأمر.

والميلوما المتعددة (Multiple Myeloma) نوع من السرطان الذي يصيب الخلايا المفرزة للأجسام المضادة والمساه بخلايا البلازما. وكل منا قادر على صنع نحو مليون نوع مختلف من جزيئات الأجسام المضادة، وفي أي وقت من الأوقات نقوم بتصنيع عدة مئات من الأنواع المختلفة. ولكن كل خلايا البلازما والمصابة بالسرطان الميلومي المتعدد تصنع نفس النوع من جزيئات الجسم المضاد (الشكل ١٩-٨). ومرة ثانية فإن توضيح ذلك هو أن كل خلايا بلازما الدم المريضة بالسرطان هي من سلالة خلية واحدة، أي، أنها تكون مجموعة متماثلة (Clone).

الشكل ١٩-٨. الفصل بالحمل الكهربائي لعشرة عينات من معمل الإنسان، كل من ضحية من عيلة الميلوما. و العينة الموجودة عند أقصى اليمين تظهر سريم طبيعي للمقارنة. لاحظ أن السريم في كل مريض به شريط واحد كثيف في منطقة جلوبيولين جاما (أنظر شكل ٢٣-١٤). في كل حالة، يوضح الشريط نوعاً واحداً من جزيء جسم مضاد الذي أنتجه كلون سرطاني كبير لخلايا مفرزة للجسم المضاد. الأنود عند القاع (بتصريح من مؤسسة أجهزة بكيان).

ولر أن الأورام الصلبة تكون غير طبيعية في تشكيلها وتباينها ، فإنها تعتمد على الدعم الأيضي الذي تزوده بها الأنسجة العادية . وعلى وجه الخصوص ، تفرز الأورام الصلبة مادة تسبب إمدادها بالدم العادي للنمو داخل الورم . وبهذه الطريقة فإن احتياجات الورم من الأيض - الغذاء وتبادل الغازات والإفراز - يكون مضمونا . وباستمرارية نمو الورم ، تنتزع منه خلايا الدم والليمف ، وتكرر الميتاستيزس التي تتكون في أجزاء أخرى من الجسم طريقة جذب إمدادها بالدم .

#### ١٩-٤ . ما الذي يسبب السرطان : WHAT CAUSES CANCER ?

وكما هي دائما الحالة مع مثل تلك الأسئلة ، توجد عدة مستويات للأسباب التي يمكننا إعتبارها ، وهنا سنتناول السبب على مستويين : (١) التغير الذي يحول خلية عادية إلى خلية سرطانية ، (٢) الدوافع أو العوامل التي تشحذ هذا التغير .

وبالنسبة للمستوي الأول ، وبالرغم من البحث المتواصل لعدة سنوات ، فلا توجد حتى الآن إجابة محددة ، وربما لن تكون هناك أبدا إجابة واحدة . ولكن ماهو واضح ، على أية حال ، هو أن تحول خلية عادية إلى خلية سرطانية يتطلب أحيانا موجودة على مستوى الجينات . وبينما أن طبيعة تلك الأحداث بالضبط غير معروفة ، فإن معلوماتنا عن العوامل التي تسبب هذه التغيرات الجينية أصبحت محددة الآن تماما . ولنختبر الآن هذين المستويين من الأسباب :

#### ١ - السرطان يتضمن تغير وراثي :

##### CANCER INVOLVES A GENETIC CHANGE

تكون الخصائص السرطانية للخلية ميزة ثانية وقابلة للتوارث لهذه الخلية ، ولا تعطي الخلايا السرطانية مطلقا خلايا عادية ، كما لا يمكن للخلايا السرطانية بقلر ما يمكننا تقديره ، أن تصيب خلايا عادية بخواصها السرطانية . وماحول خلية عادية إلى خلية سرطانية يستمر في الأجيال المتلاحقة مع كل إنقسام غير مباشر مثل أي صفة تتحكم فيها العوامل الوراثية .

وهناك اقتراح بوجود علاقة قوية بين الجينات والسرطان وذلك لوجود نماذج واضحة على وراثة القابلية لنشوء بعض أنواع السرطان داخل الأسرة الواحدة . ومثال واضح

على ذلك هو السرطان المسمى سرطان الجلد (Xeroderma pigmentosum) فضحايا هذا المرض الموروث والذي من أعراضه نقص الآلة الأنزيمية العادية لأصلاح (DNA) التالف، إذ أن التعرض للأشعة فوق البنفسجية تتلف الـ (DNA) كما رأينا من قبل (أنظر قسم ١٢-٥)، وهذا يوضح لماذا يصاب ضحايا الأكسيرودرما المحبة بسرطان الجلد، وخاصة على أجزاء الجسم المعرضة لأشعة الشمس.

وتوجد مجموعة كبيرة من المواد الكيميائية ثبت أنها تسبب السرطان. وفي أغلب الأحوال، فإن طبيعة إحداثها للضرر غير محددة تماما. وعلى أية حال، فإنه في الحالات التي تم اختبارها، أظهرت هذه المواد أنها تعمل مباشرة مع (DNA). ويمكن توضيح العلاقة الوثيقة بين الإصابة السرطانية وبين التأثير على الجينات أيضا بحقيقة أن ٩٠٪ من جميع المواد الكيميائية التي تسبب السرطان تسبب أيضا طفرات كما أظهره اختبار العالم إيمز (Ames) (أنظر قسم ١٢-٥).

وتسبب بعض الفيروسات السرطان في حيوانات التجارب (وربما في الإنسان). والخواص المسببة للسرطان في تلك الفيروسات تبدو وكأنها موجودة في جين واحد أو أكثر والتي هي جزء من جينوم الفيروس. ولإحداث سرطان في خلايا العائل، لا بد من انتقال تلك الجينات إلى جينوم خلية العائل. ومن العجيب بالفعل أن الدراسات التهجينية للـ (DNA) (أنظر قسم ١٤-٣) أثبتت أنه ربما لا توجد بالفعل جينات متماثلة في الخلية العادية للعائل قبل الإصابة بالسرطان. ويوجد تفسير واحد لهذا الاكتشاف العجيب وهو أن الجينات المسببة للسرطان ربما، في الحقيقة، هي الجينات العازية للعائل أو قريبة الشبه جدا للعادية (ولربما تكون الجينات التي تقوم بوظائفها في العادة أثناء الأطوار الأولى للأنشقاق الجنيني والتشكل). ومهما كان دورها الطبيعي، إذا ما ظهر أن التكوين الجنيني يحتاج إلى جعل الصفة السرطانية تسكن بالفعل داخل الخلية إذن فالترغيب للسرطان بالفيروسات ربما تكون مسألة تنظيم : تشغيل الجين أو الجينات في أوقات غير مناسبة، أو عند مستويات عالية غير عادية من النشاط.

وتأكيدنا على الأساس الجنيني للسرطان لا يصح أن يقودنا إلى الوصول إلى خلاصة أن نقطة بسيطة من الطفرات هي واحد أو قليل من الجينات المتضادة اللازم تواجدها في هذا المجال. وقبل كل شيء، يثبت تحليل الخريطة الكروموسومية (Karyotype) على خلايا السرطان على أنه عادة ما يظهر واحد أو أكثر من الشذوذ الكروموسومي الكبير

(أنظر قسم ١١-٤). فالخلايا السرطانية تكون عادة ذات أعداد غير عادية من الكروموسومات، أو كروموسومات غير عادية التركيب، أو كليهما.

وقد يحتاج خلق خلية سرطانية إلى خطوتين منفصلتين، فبعض المواد الكيميائية التي تسبب السرطان قد تكون فعالة عند الجرعات المنخفضة إلا إذا كانت الخلايا المعرضة لها معرضة أيضا لمادة ثانية تسمى مروج "Promoter". ويبدو أنه عند الجرعات المنخفضة لا تسبب هذه الكيميائية السرطانية السرطان من نفسها، ولكن بدلا من ذلك، تجهز المسرح (بطفرة ؟) للترغيب فيما بعد بالأصابة بالسرطان بواسطة المروج، وقد يمر وقت طويل بين الخطوة الأولى والثانية. وفي الإنسان، لا تظهر الأورام السرطانية في الغالب إلا بعد سنوات من التعرض إلى مسبب معروف للسرطان (الشكل ١٩-٩).

#### CARCINOGENIC AGENTS

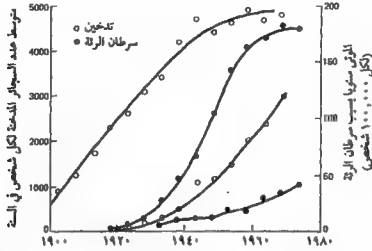
#### ٢ - العوامل المسببة للسرطان :

تم في الباب الثاني عشر فحص الدليل على أن الإشعاع (مثل أشعة إكس، والأشعة فوق البنفسجية) وبعض الكيميائية تسبب الطفرات. وبواسطة - وعلى مجال واسع - نفس هذه العوامل يحدث السرطان كذلك.

#### RADIATION

#### ٣ - الإشعاع :

ربما يمكن لأي شكل من أشكال الإشعاع بموجات طولية أقصر من موجات الضوء المرئي أن يسبب السرطان إذا ما استطاع أن يخترق أنوية الخلايا. وتعتبر الدقائق تحت الذرية (Subatomic) التي تستطيع اختراق الخلايا من مسببات السرطان. وأظهرت عدة دراسات على أفراد تعرضوا إلى مستويات فوق متوسطة من الأشعاع (مثل العاملين في مجال الأشعة أنفسهم) أن الجرعات المرتفعة نسبيا من الأشعاع تؤدي إلى معدل فوق المعتاد من الإصابة بالسرطان. ولسوء الحظ، فإن المدة الطويلة بين التعرض وظهور المرض، مضافا إليه الحقيقة بأننا في حياتنا اليومية معرضون للكثير من المسببات السرطانية، يجعل من الصعب التأكد من مدى خطورة الجرعات المنخفضة من الأشعاع. ويوجد احتمال واحد هو أنه توجد جرعة مثل والتي إذا ما قلت جرعة الأشعاع عنها يمنع ال (DNA)، وهو المسئول عن ميكانيكية الإصلاح في الخلية، السرطان من



الشكل ١٩-٩. المعدل المتأخر بين مستهلكي السجائر والوفيات من سرطان الرئة بين الرجال (ملون) والنساء في إنجلترا. بالكثير من مسببات السرطان يحدث السرطان بعد التعرض لمدة طويلة (مأخوذة من التدخين والصحة الآن، شركة نشر بيتان الطبية والعلمية).

الظهور. والاحتمال الآخر هو أنه لا توجد أية جرعة من الأشعاع - مهما صغرت - تكون غير قادرة على إحداث السرطان، ولكن تأثير تلك الجرعات المنخفضة يكون صغيراً جداً ومتأخراً للدرجة أنه لا يمكن تدارك هذا التأثير. في أي تعداد يكون نحو خمس هذا التعداد معرضاً للأصابة بالسرطان على أية حال. وبينما تعتبر تلك الأسئلة صعبة الإجابة، إلا أنه من المهم التأكد من أن أي مجهود يؤدي إلى الإجابة عليها يمكننا من إيجاد مستويات معقولة للتعرض للإشعاع من الهيئات الطبية والمهنية (أنظر الشكل ١٢-٢١).

#### CARCINOGENIC CHEMICALS

#### ٤ - الكيمياءات السرطانية:

إن حياتنا محاطة بالكيمياءات - كيمياءات منتجة صناعياً وأخرى موجودة في الطبيعة في، على سبيل المثال، الغذاء الذي نأكله. هل يمكن لتلك الكيمياءات إحداث السرطان؟ والإجابة على كثير منها بنعم، هل هي، حقيقة تسبب السرطان؟ الإجابة الآن واضحة بنعم لبعضها، وللآخر تكون الإجابة غير مؤكدة. ويمكن اختبار القدرة السرطانية لمركب كيميائي بتغذيته لحيوانات تجارب أو بتعريض تلك الحيوانات له. وكثير من الكيمياءات، إذا ما اختبرت بهذه الطريقة، تحدث زيادة في حالات

ظهور الأورام في تلك الحيوانات . وفي كل حالة ، لابد من أن نرفع علم الخطر، ولكن في بعض الحالات، تكون أهمية هذا الاكتشاف غير واضحة دائما . ولسبب واحد، نشأ في الكثير من تلك الحيوانات المستخدمة (مثل الفئران) السرطان بأي حال من الأحوال، إذن فالإنسان يبحث في الواقع عن زيادة مؤكدة إحصائيا في معدل ظهور السرطان في حيوانات التجارب بمقارنتها بحيوانات قياسية . كما توجد مشكلة أخرى وهي مقدار الجرعات الممكن استخدامها في الاختبار، إذ ربما تعطينا جرعات كبيرة من الكيمائيات نتائج مؤكدة ولكنها لا تدل على مستويات التعرض التي يمكن للإنسان تحملها . فهل يوجد حد أمثل للسلامة؟ فلائحة ديلاني كلوز (Delaney Clause) الخاصة بالأطعمة، والأدوية، ومستحضرات التجميل تعتمد على فرض عدم وجود هذا الحد، وتمنع هذه اللائحة استخدام أي مادة تسبب السرطان في حيوانات التجارب وبأية جرعة في الأطعمة.

والمشكلة الخاصة بمعرفة عما إذا كانت الجرعات المنخفضة من الكيمائيات تحدث السرطان هي نفسها كما في الأشعاع . فعند الجرعات المنخفضة جدا من الكيمائيات، فإن عدد الحيوانات التي تحتاجها لأظهار زيادة مؤكدة في السرطان يكون كبيرا جدا . وعلاوة على ذلك، فإنه مع عمر يطول إلى ثلاث سنوات أو ماشابه ذلك، تكون أكثر الفئران قد ماتت بسبب كبر السن قبل ظهور تأثير الجرعات المنخفضة للمادة الكيمائية السرطانية . ولربما يمكنك الآن أن تشعر بتقدير أحسن الآراء المضادة التي كانت تدور دائما حول المكتشفات العملية لمواد السيكلامينات، والسكريين، والنيتروسامينات، والمواد الهيدروكربونية الموجودة في لحم بقري مشوى على الفحم، والمركبات الكلورية في أنابيب المياه بالمدن، وغيرها . ويكل تأكيد، فإن عددا من الكيمائيات المستخدمة في الصناعة يكون خطيرا من ناحية تسببه لأمراض السرطان . ومن الأهمية بمكان اتخاذ الإجراءات اللازمة لتقليل تعرض العاملين إلى تلك المواد . وبالنسبة للجمهور العام، فإن أوضح صلة بين الكيمائيات والسرطان هي العلاقة بين مدخني السجائر وسرطانات (الرئة وغيرها) (الشكل ١٩-٩) .

وكيدل للأختبارات العملية لقدرة مسببات السرطان هو البحث عن وجود علاقة بين زيادة الإصابة بالسرطان في مجموعة من البشر وبين تعرضهم لمادة كيميائية معينة . وكما يوضح الشكل (١٩-٩)، فإن تلك العلاقة واضحة تماما في مدخني السجائر .

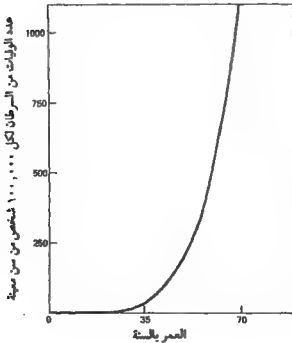
ولكن بالنسبة إلى الكثير من المواد، فإن تلك العلاقة الواضحة لا يمكن الوصول إليها، لأن ذلك يرجع جزئياً إلى طول المدة، غالباً عشرات السنين، بين التعرض لمادة سرطانية ونشوء الورم. ويشئ على ذلك أيضاً الزيادة الكبيرة في حدوث السرطان الموجود في كل البشر كلما تقدموا في العمر. ويعادل مقدار حدوث السرطان في مجموعة تبلغ من العمر ٧٠ سنة ٦٤ مرة مقدار ما يحدث في مجموعة تبلغ من العمر ٣٥ سنة (الشكل ١٩-١٠). وبينما نجد أن المعدل المرتفع للسرطان من صفات المجتمع اليوم، فذلك يرجع إلى المواد الكيميائية التي نتعرض لها أنفسنا، كما يرجع أيضاً إلى الزيادة المحسوسة في متوسط طول عمر الإنسان في هذا القرن. وفي الواقع فإن التقدم في نظم التغذية والصحة العامة في المائة سنة الأخيرة، مسئول جزئياً عن الزيادة في الإصابة بالسرطان، إذ أن هذا التقدم نتج عند تعداد نتوقع منه أن يعيش للعمر الذي يصبح فيه السرطان سبباً أساسياً من أسباب الموت (الشكل ١٩-١١).

## ONCOGENIC VIRUSES

## ٥ - الفيروسات المسببة للسرطان:

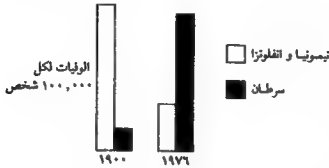
ليس هناك شك في أن السرطان يمكنه أن يصيب الكثير من الحيوانات مثل اليرماتيات، والطيور، والقوارض، وذلك عن طريق حقن فيروسات معينة. وكل

مانحتاج إليه هو طحن نسيج به الورم السرطاني، وإمرار هذا النسيج المطحون من



الشكل ١٩-١٠. معدل الوفيات من السرطان في الولايات المتحدة كدالة للعمر.

متوسط الحياة المتوقعة عند الولادة



الشكل ١٩-١١. عند

بداية القرن ، سببت الأمراض المعدية مثل الأنفلونزا والتهيمونيا وفيات أكثر في الولايات المتحدة من الأمراض العضوية مثل السرطان. واليوم انعكس الوضع. فالأسلحة المتاحة ضد الأمراض المعدية مثل

المضادات الحيوية والمناخية، زادت من متوسط طول العمر وسببت في أنه أصبحت الأمراض العضوية هي أكثر أسباب الوفاة.

مرشح في حيوان التجارب. هل يمكن أن يصبح الإنسان ضحية أيضا للفيروسات المسببة للسرطان؟ وهذا هو أصعب سؤال. وكل وضوح، لا يمكننا إجراء اختبارات على فيروس مشتبه فيه بحقنه في الإنسان. ومن جهة أخرى، يكون أيضا من الأشياء الغريبة أن تكون هناك ظاهرة منتشرة بشكل كبير بين أفراد المملكة الحيوانية ولا توجد في الإنسان ولو أنه لا يوجد دليل كاف على وجود فيروس يحدث سرطانا في الإنسان، إلا أنه يمتثل وجود مرشحين لذلك. أحد هؤلاء المرشحين هو فيروس إيبشتاين - بار (EB - Epstein - Barr) وهو منتشر جدا بين المجتمعات الإنسانية. وفي الأطفال، تسبب الإصابة بهذا الفيروس مرضا خفيفا لا يستمر طويلا. وفي المراهقين والبالغين حديثا، يسبب هذا الفيروس مرضا يسمى مونونوكليوزس أي وحيد النواه (Mononucleosis): وهو مرض ينتج عنه تشنت مؤقتة لا يمكننا التحكم فيه كرات الدم الليمفاوية (Lymphocytes). والأفراد ذوي نقص في الجهاز المناعي ينشأ بأجسامهم سرطان لهذا النوع من كرات الدم يسمى ليمفوما (Lymphoma). ، في بعض الحالات (وليس كلها)، يسبق مرضها الإصابة بالمونونوكليوزس. وفي كل حالة فإن الخلايا السرطانية تكون مصابة بالفيروس (EB). إذن فإن الفيروس (EB) المذكور قد يكون كذلك فيروس للسرطان في الإنسان ويشجعه على ذلك توافر عامل في العائل نفسه (مثل مستوى المناعة).

وغالبا ما تأتي المعرفة بعلوم الحياة من دراسة الوظائف غير العادية (مثل



الطفرات). وبكل تأكيد يمكنك مشاركتي في التمني بأن الأبحاث على السرطان قد تؤدي بالتالي لقيادتنا إلى الطرق التي نكافح بها هذا المرض الفظيع بفعالية أكبر عما يمكننا عمله الآن. ولكن بينما نحن نكافح للوصول إلى هذا الهدف، يجب أن نتعلم أكثر عن خواص الخلايا الأساسية: الجينات التي تتحكم فيها، والأشارات المرغوبة التي نمر بينها، وأكثر من ذلك.

AGING

الشيخوخة:

AGING - THE FACTS

١٩-٥. الشيخوخة - الحقائق:

يمكن أن يطلق على الشيخوخة أنه تدهور مستمر، بمرور الوقت، لتركيب ووظائف كائن بالغ، ويؤدي هذا بالتالي إلى موت الكائن. فإما أن يجعل الفقد الزائد في الوظيفة الكائن على عدم المقدرة على تحمل الأمراض الويائية أو، في الغالب، فشل بعض الأعضاء الحيوية مما يجعل بموت باقي الأعضاء.

وكانت دراسة الشيخوخة مهمة منذ وقت طويل، ولكن بما أنه أمكن الآن التحكم في أمراض الإنسان الويائية باللقاحات، ومستحضرات السلفا، والمضادات الحيوية، أصبح الكثير من الناس يعيشون إلى عمر يصبح فيه عدم عجزهم عن العمل مشكلة بسبب كبر السن. ولأجل هذا، أصبح مهما الآن البحث في مشاكل الشيخوخة. وحول الكثير من الأطباء وعلماء الاجتماع والفسولوجيا والكيمياء الحيوية والكثيرون غيرهم، إهتمامهم إلى مشكلة الشيخوخة. وليست الشيخوخة في الإنسان فقط هي التي أصبحت موضع الدراسة، بل أيضا في الكثير من الكائنات الأخرى والتي يمكن أن تكون خيطا لفهم طبيعة تلك الشيخوخة. و كنتيجة لتلك الدراسات، تظهر حقيقة واحدة، ألا وهي أن تأثير زيادة العمر يختلف كثيرا من كائن إلى آخر.

وبين البكتيريا، لا توجد عملية كبر السن (الشيخوخة)، فإذا ما كبرت خلية فلإنها تنقسم إلى خليتين، وهاتان تكرران العملية وهكذا. ولو أن تغيرات كثيرة في البيئة قد تقتل خلية بكتيرية، إلا أنه لم يعرف حتى الآن موت خلية بسبب الشيخوخة. ولهذا السبب، فلقد وصف بعض علماء الأحياء البكتيريا بأنها يمكنها أن تكون خالدة. وبينما فكرة خلود البكتيريا لها استحقاقها، إلا أن إضافة الكائنات وحيدة الخلية إلى مجموعتها لا يعد صحيحا.

وكان يعتقد في وقت من الأوقات أن أخذ خلايا، بل حتى أنسجة، من حيوانات وزراعتها في المعمل يمكن أن تنقل إليها صفة الخلود كما هو الحال في البكتيريا المرباه على بيئتها. وعلى أية حال، ليس الوضع بتلك البساطة. وفي الحقيقة، فإن بعض خلايا الثدييات يمكن تكاثرها إلى ما لا نهاية، ولكن في كل حالة، لا تكون تلك الخلايا عادية، إذ يكون بها عدد من التشوهات، من بينها مجموعة كروموسومية (Karyotype) غير عادية (أنظر قسم ١١-٤)، كذلك، عموماً، القدرة على النمو إلى ورم سرطاني إذا ما زرعت في النوع الذي أخذت منه تلك الخلايا. وفي الحقيقة فإن كثيراً من المزارع الناجحة الطويلة العمر مأخوذة من السرطانات. فخلايا هلا "Hela" على سبيل المثال، التي تربي الآن في المعامل في جميع أنحاء العلم، كانت منذ سنوات طويلة من سرطان عنق إنسان.

ويمكن تربية الخلايا الثديية العادية معملياً، ولكنها عادة لا تمر في أكثر من ٥٠ انقساماً خلويًا قبل أن تتدهور تلك الخلايا في نشاطها وتموت. وما يدعو إلى التشويق، يمكن للخلايا المأخوذة من ثدييات صغيرة أن تمر في أجيال أكثر مما يمكن أن تمر بها الخلايا المأخوذة من ثدييات أكبر سناً، وهذا يجعلنا نعتقد أن خلايا الحيوانات الثديية لها حدود موروثية في عدد إنقساماتها التي يمكنها القيام بها، سواء أكانت مرباه حيويًا أو معملياً.

ويتفق كل إنسان على أن الكائنات متعددة الخلايا مألها للموت، إذ ربما فقدت خلاياها صفة الاستقلالية. وعند التخصص لأداء وظيفة معينة، تهجر تلك الخلايا المتخصصة وظائف حيوية أخرى وتتركها للخلايا المجاورة، فإذا ما أصاب مرض أو أي ضرر آخر أي مجموعة من تلك لخلايا المتخصصة، فإن باقي الخلايا يصيبها الفشل أيضاً. ولذلك فإن فشل القلب ينتج عنه الموت السريع لجميع خلايا الجسم مهما كانت قوية وصحيحة.

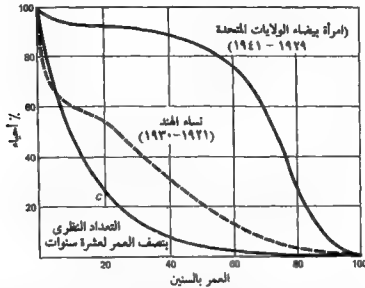
ولو أن جميع الكائنات متعددة الخلايا مألها للموت، فلا يكون دقيقاً عندئذ إذا قلنا أن سبب ذلك هو الشيخوخة. إذ أنه يمكن لبعض الكائنات تفادي الشيخوخة وأثناء ذلك، يمكنها إدراك عمر طويل قياسي. فبعض الأئيمونات البحرية معروف عنها أنها عاشت نحو ٧٨ سنة، ويمكنها الوصول إلى هذا العمر الطويل وتفادي الشيخوخة بتجديد أجزاء جسمها القديمة دورياً. والأشجار الخشبية المستديمة تقع في نفس

المجموعة، إذ أنها في أثناء حياتها تنتج كل عام أنسجة وعائية جديدة، وأوراق، وأزهار، ولا تبدى أي ظاهرة من ظواهر الشيخوخة، ولو أن معدل نموها يقل مع تقدم السنين. وأخيرا، فالمرض أو عدم القدرة على حماية حجمها الكبير المتزايد ضد فعل الريح أو كتل الجليد يؤدي إلى موت تلك الأشجار، والذي قد لا يحدث إلا بعد مدة طويلة. ويوضح تحليل الحلقات الخشبية أن بعض أشجار الصنوبر في شرق كاليفورنيا يزيد عمرها عن ٤٠٠٠ سنة (الشكل ١٩-١٢). وفي وقتنا الحاضر، يبدو أن هذا يعتبر رقما قياسيا في طول عمر الشجرة، ومع ذلك لاحظ أنه، على أية حال، لا توجد خلايا حية في هذه الأشجار يزيد عمرها عن بعض السنين القلائل.

ويبدو أن بعض الأسماك والزواحف تنفادى، أو على الأقل تمنع، الشيخوخة باستمراريتها في النمو طوال حياتها. ولا نعرف ماذا يجلب الموت لها، ولكن ربما ببساطة يكون سببه نفس العوامل التي تسبب الموت في الأفراد الأصغر من نفس الأنواع: المرض أو الافتراس. وكل تلك المتحدييات للحياة، تعمل كلية بطريقة عشوائية، وبالتالي تصيب جميع أفراد أي جيل من الأجيال (الشكل ١٩-١٣).



الشكل ١٩-١٢. أشجار الصنوبر *Pinus aristata* النامية في الجبال البيضاء في شرق كاليفورنيا. تحليل الحلقات السنوية أثبت أن عمر الأشجار أكثر من ٤٠٠٠ سنة (بتصريح من والتر جيراش).



الشكل ١٩-١٣. منحنيات الأحياء الممثلة المنحنى (أ) نموذجي للكائنات المسنة ولكنها تعاني وفيات قليلة متفرقة قبل ذلك. تعدادات النباتات لها نفس المنحنى. المنحنى (ب) يمثل تعدادات نموذجية والتي فيها العوامل البيئية مثل الجوع، الاقتراس، والأمراض التي توضح آثار الشيخوخة. المعدل المرتفع في وفيات الأطفال يميز على الخصوص الكائنات التي لا تقوم بأي عناية لصغارها. المنحنى (ج) منحنى نظري للكائنات التي فيها فرصة الوفاة متساوية في كل الأعمار. وقد يكون هذا حقيقيا للكائنات من الطيور المفردة في الأدغال) تعني من موت عشوائي بسبب هرسها قبل وقت شيخوختها.

وربما يكون حقيقة كذلك أن الأسماك والزواحف تصبح أقل موادة مع بيئتها إذا ما زادت عن حجم معين. وعلى أية حال، فإن القدرة على النمو بشتات، حتى ولو ببطء، يسدو وكأنها حماية لتلك الكائنات من الآثار الضارة للشيخوخة. وقدر لبعض السلاحف البحرية أنها تعيش أكثر من ١٥٠ سنة.

ويختلف الموقف بين النباتات الحولية (مثل النجيليات والكثير من الحشائش) والشجيرات. فأغلب النباتات الحولية تنمو بقوة لفترة ثم تكون الأزهار ثم الثمار، ويصاحب الإثمار انخفاض واضح في النمو. ويتوقف النمو البطيء، تحدث تغيرات أخرى أيضا، إذ يخف جزء كبير من الكلوروفيل من الأوراق، ويزداد معدل التنفس (وبالتالي بناء وتغيير المادة) زيادة ملحوظة، ويتبع ذلك الكثير من التغيرات التشريحية. كل تلك التغيرات تكون الشيخوخة وتنتهي بموت النبات. ومن المهم معرفة أن هذه التغيرات ليس من الضروري أن يكون لها علاقة بالتغيرات العكسية في البيئة الطبيعية، فقد تحدث

الشيخوخة في النبات الحولي بالرغم من وجود رطوبة متوفرة، وعناصر في التربة، وضوء الشمس، وحرارة دافئة .

والثدييات، كما شاهدنا، تنمو إلى حجم معين ثم تقف . ويعد توقف النمو لبعض الوقت، يبدأ النمو ثانية . ويختلف طول فترة الحياة من نوع إلى آخر، ففأر التجارب في المعمل والذي يبلغ من العمر ثلاث سنوات يعتبر عجوزا جدا، وفي الإنسان، ولو أن تدهوره بسبب الشيخوخة يمكن إكتشافه عند بلوغه الثلاثين سنة من العمر، ولكن الفقد المميت للوظيفة قد لا يحدث إلا بعد هذا العمر بكثير.

فما هي إذن أعراض الشيخوخة؟ فإنخفاض القوة العضلية، وانخفاض قدرة

الشكل ١٩-١٤ : الفقد في التركيب والوظيفة بسبب الشيخوخة . وتوضح الأرقام النسب المئوية لوظيفة معينة باقية في رجل يبلغ من العمر ٧٥ سنة، بالمقارنة بما يوجد في رجل عمره ٣٠ سنة، والقيمة الأخيرة مأخوذة على أنها ١٠٠٪ :

وزن المخ	٥٦٪
تزويد الدم للمخ	٨٠
إنتاج القلب وقت الراحة	٧٠
عدد حويصلات الكلية	٥٦
معدل ترشيح الحويصلات	٦٩
سرعة العودة إلى درجة الحموضة (pH) الطبيعية للدم بعد تجلده	١٧
عذ براعم الذوق	٣٦
القدرة الحيوية	٥٦
قوة قبض اليد	٥٥
أقصى كمية من الأكسجين الذي يستشفه الإنسان عند التدريب	٤٠
عدد الزوائد العصبية (Axons) في عصب شوكي	٦٣
سرعة نبض العصب	٩٠
وزن الجسم في الذكور	٨٨

الرئتين، وانخفاض دفع الدم من القلب، وانخفاض تكوين اليوريا في الكليتين، ومعدل التمثيل الحيوي، ما هي إلا أمثلة قليلة من تغيرات الجسم الكثيرة التي تحدث عند الشيخوخة. ويوضح الشكل (١٩-١٤) بعض الأمثلة الأخرى للتدهور في الوظائف والتركيب التي تحدث عند عمري ٣٠ ، ٧٥ سنة.

لماذا تفقد أعضاء الجسم المختلفة قدرتها على أداء وظائفها جيدا بالتدريج؟ هناك إجابة واحدة وهي أنها تفقد الخلايا التي تتكون منها. فكثير من أعضاء الجسم تفقد من وزنها مع الشيخوخة (الشكل ١٩-١٤)، وحتى الأعضاء التي لا تفقد من وزنها شيئا فإنها تفقد الخلايا المتخصصة التي تمكنها من أداء وظائفها، وقد يمكن لهذه الخلايا تعويضها عن طريق النسيج الضام أو خلايا النسيج الدهني، وعلى أية حال، يبقى الوزن الكلي للعضو ثابتا. ومن الطريف ملاحظة أن الأعضاء التي تفقد الكثير من قدرتها على أداء وظيفتها (وبهذا تظهر الكثير من الشيخوخة) هي الأعضاء التي أصبحت خلاياها لا تنقسم بنشاط، ومن تلك الأعضاء القلب والمخ والكليتين والعضلات. ومن ناحية أخرى، فإن الأعضاء التي مازالت خلاياها تقوم بعمليات إنقسامها بكفاءة (مثل نخاع العظام، والكبد، والبكرياس) فإنها لا تبدى أي فقد في وظيفتها مع الشيخوخة. ويذكرنا هذا الموقف بالشباب الدائم لخلايا البكتيريا السريعة الانقسام.

#### ٦-١٩. الشيخوخة - النظريات : AGING - THE THEORIES

ما سبب تدهور التغيرات بسبب الشيخوخة؟ هذا هو أحد الأسئلة من ضمن الأسئلة العديدة الغير قابلة للأجابة في البيولوجيا. ولقد قدمت عدة أقترحات عن أسباب الشيخوخة، ولكن الحقائق المعروفة عن الشيخوخة لا زالت قليلة جدا إما لأثبتها بالحجة أو لا نأخذها في الاعتبار.

و تشرح إحدى النظريات الشائعة الشيخوخة بأنها عاقبة (أي تعقب) الحياة، أي أنه، كلما أسرعت حياة الكائن، كلما أسرع في بلوغه إلى الشيخوخة. فالحياة السريعة معناها التباين السريع والنمو، وتعنى أيضا معدل مرتفع من التمثيل الغذائي. وحقيقة فإن الثدييات، مثل القرثان، والتي تصل إلى طور البلوغ بعد عدة أسابيع من ولادتها، تنشيخ بسرعة أكبر بكثير من الثدييات مثل الإنسان والذي يستغرق سنوات حتى يصل إلى طور البلوغ.

ويوجد طريق واحد لاختبار تلك النظرية وهو إيجاد طريقة ما يمكنها من إبطاء معدل نشوء الكائن. ولقد وجد أن تغذية الفئران الصغيرة على الغذاء الذي يكفيها فقط لبغائها على قيد الحياة يقوم بهذه المهمة. فإذا ما أعطيت تلك الفئران غذاء كافياً، فإنها تصل سريعاً إلى صفات مثيلاتها المرباه عادياً من جميع الوجوه. وفي الحقيقة، فإنها تصبح قادرة على أن تعيش في راحة لمدة أطول بعد وفاة مثيلاتها المغذاه جيداً.

وتوجد نظرية أخرى والتي تربط الشيخوخة بالحياة وتسمى نظرية كلنكر "Clinker" وطبقاً لهذه النظرية، فإن كل خلية لا بد وأن تجمع مواداً تالفة سامة بدخولها طوال حياتها. ويقلل هذا التجمع بالتدريج قدرة الخلية على أداء وظيفتها، وبذلك تشيخ الخلية. ويدعم هذه النظرية إكتشاف كميات كبيرة من الحبيبات داخل خلايا الأفراد كباري السن، وخاصة الخلايا التي لا تنقسم مثل خلايا العضلات والأعصاب. أما عن الخلايا سريعة الإنقسام، كالتي توجد في الكبد، فإنها تحتوي على حبيبات أقل بكثير. (وهل تذكر بأن الأعضاء التي تحتوي على خلايا لا يستمر فيها الإنقسام طوال حياتها هي الأعضاء التي تشيخ أكثر). ولو أن الطبيعة الكيميائية لهذه الحبيبات غير معروفة حتى الآن، إلا أنه يوجد دليل على أنها - أي الحبيبات - تمثل بقايا عضيات خلايا قديمة ممزقة (مثل الميتوكوندريا) والتي كانت منضمة إلى الليسوسومات.

ولماذا لا تستطيع الخلية أن تخلص نفسها من تلك المواد الضارة ؟ ربما يرجع ذلك إلى أن الخلايا القديمة أقل قدرة على تخليص نفسها من أية مواد. فعادة الكولاجين، وهو المركب البروتيني الرئيسي في الجسم، يوجد في الغلاف الذي يحيط بالخلايا أو في داخل (Matrix) أغلب خلايا الجسم. والكولاجين عند ابتداء تخليقه يكون مرناً وسهلاً الذوبان، ويمرور الوقت، تصبح سلاسل عديدة الببتيدات - والتي يتكون منها الكولاجين - أكثر ارتباطاً ببعضها البعض، مما يقلل من درجة ذوبانها ومرنتها. والحقيقة المؤكدة هي أن الأعضاء والأنسجة (مثل الجلد) في الحيوانات الكبيرة السن تصبح أقل مرونة بتقدم العمر، ومن الحقيقة أيضاً أن الكولاجين المسن يعمل كحاجز يمنع المواد سهلة المرور من وإلى الشعيرات الدموية. وربما أيضاً، من وإلى الخلايا. وأمكن أكتشاف أنخفاض النفاذية في الرئتين والكلب والجلد في الحيوانات المعمرة. وعلى سبيل المثال، إذا ما حقن هستامين تحت الجلد، تصبح الشعيرات الدموية أكثر شفافية، وتزيد كميات البروتين النافذة إلى فراغات الأنسجة. وعلى أية حال، فإن أهمية هذه

الاستجابة تقل كثيرا في الحيوانات كبيرة السن . ويوضح انخفاض الشفافية كذلك لماذا يعمل الكثير من الأجهزة المنظمة للجسم بطريقة أبطأ مع تقدم العمر.

فإذا ما كانت شيخوخة الكولاجين هي الساعة التي تحدد وقت الشيخوخة للكائن بأكمله ، يمكن أن نرى لماذا لا تشيخ الحيوانات طالما أنها مستمرة في النمو . فالنمو يعني إذن إستمرارية خلق كولاجين جديد وحديث ، وبالتالي يبطيء دقات الساعة .

ولكن لماذا يكون الكولاجين في فأر عاجز توقف عن النمو منذ نحو الستين في نفس شيخوخة رجل عمرة ٧٠ سنة والذي توقف عن النمو منذ نحو ٥٠ سنة ؟ ربما يكون معدل شيخوخة الكولاجين ليس مجرد وظيفة زمنية بسيطة ولكن أيضا بسبب معدل التمثيل الحيوي . وإذا كان كذلك ، فإن هذا يمدنا بقاعدة جزئية للنظرية ، والتي شرحت قبل هذا الكلام ، وهي أن الشيخوخة ماهي إلا نتيجة لمعدل الحياة . فالتدريجات الصغيرة عندها ، في الحقيقة ، معدلات من التمثيل الحيوي أعلى من تلك الموجودة عند الثدييات الأكبر.

وقليل من علماء الأحياء يشعرون بأن الشيخوخة هي إلى حد كبير نتيجة تغيرات عكسية في البيئة ، وهم مهتمون على وجه الخصوص بتأثير الأشعاع (مثل الأشعة الكونية ، وأشعة إكس) على الجينات في خلايا الجسم أو على بلازما خلايا الجسم . والطفرات في بلازما خلايا الجسم لا يسهل إكتشافها كما يحدث للطفرات في بلازما الخلايا التناسلية (وفي الواقع فإن علم الوراثة بأكمله مبني على النقطة الأخيرة) . ولا يوجد سبب للتفكير مع ذلك ، على أن (DNA) في خلايا الجسم يكون أكثر مناعة للطفرات عن ال (DNA) في الخلايا التناسلية . وعند تذكر نظرية جين واحد لكل عديد الببتيد (أنظر قسم ١٣-١) ، قد نتوقع من خلايا الجسم وما تقتنيه من طفرات أن تنتج عديدات الببتيدات والبروتينات المتحرفة ، ويقلل هذا بطبيعة الحال من كفاءتها أو حتى قد يتسبب في موتها .

وتأييدا لتلك النظرية ، برهن عدد من العلماء أنه عندما تبدأ خلايا الإنسان في الشيخوخة (بتميتها في بيئة) ، فإن الخلايا المذكورة تنتج إنزيمات منحرفة . وثعبان الماء الخلل (*Vinegar eel*) الكبير السن (وهو في الحقيقة دودة صغيرة) وحتى مستعمرات النيروسبورا (*Neurospora*) الكبيرة السن تفعل نفس الشيء .



ولقد تم توضيح أن التعرض للأشعة بجرعات تحت مميته، يقلل من طول الحياة المتوقعة للكثير من الحيوانات (الشكل ١٩-١٥). وعلى أية حال، يظهر الأشعاع أقصى تأثيره السيء على الخلايا السريعة الانقسام (مثل الكبد، ونخاع العظام) والتي تنجو دائما من تأثير الشيخوخة، ويكون تلف الخلايا وموتها في مثل تلك الأنسجة (الكبد ونخاع العظام) مما يمكن تعويضه، إذ يمكن تدمير الخلايا المعيوبة بالليزوسومات وبالحلايا الملتزمة ويحل محلها خلايا جديدة بالإنقسام الغير مباشر. وفي أعضاء مثل المخ والعضلات، حيث لا يوجد إنقسام غير مباشر، تصبح الخلايا التالفة نقطة ضعف دائمة

وكثير من علماء الأحياء يشعرون أن الميل إلى الشيخوخة هي صفة ذاتية (داخلية)، فهم يصرحون بأنه حتى تحت أحسن الظروف البيئية، تشيخ الكائنات عند معدل محدد تبعا لطبيعة جيناتها. ويوجد دليل قوي يدعم هذا الرأي، فلقد رأينا أن النباتات الحولية تشيخ بالرغم من الإبقاء على كل الظروف الطبيعية الملائمة حولها. والإختلافات الواسعة في العمر من نوع من أنواع الثدييات إلى آخر يصعب تفسيرها بدون ادخال العوامل الوراثية في الحسبان وحتى داخل نفس النوع، وتظهر بعض الفروع العائلية حياة أكبر باستمرار عن فروع عائلات أخرى. وأفضل طريقة كي تضمن لنفسك حياة طويلة أن يكون لك أبوين طويلي العمر؟ والحقيقة أنه، كمجموعة، فإن النساء هن متوسط أعمار أطول من الرجال، وهذا يؤيد أن العوامل الوراثية تقوم بدورها (إنها لا تثبت ذلك، على أية حال. ولم لا؟) ولا تفوق النساء الرجال في الأعمار فقط، بل إن إناث الفئران، والجرذان، وذبابة الفاكهة والعناكب والكثير من الأسماك أيضا، تفوق الذكور في طول العمر.

ويقبل أغلب علماء الأحياء فكرة أن الشيخوخة تنتج عن تداخل بين العوامل الوراثية والعوامل البيئية. ونتيجة لذلك، فإن أغلب النظريات السائدة عن الشيخوخة تعتقد بتداخل هاتين القوتين. ولكن إذا ما كان هناك أي شكل من أشكال الشيخوخة يقع تحت تأثير الجينات، فمعنى ذلك أن الشيخوخة هي جزء من وسيلة عامة للنمو، مثل، كما تقول، التشكل.

ولربما كانت أجل محاولة لنسج المعلومات المختلفة عن الشيخوخة في صورة ملائمة كانت تلك التي قام بها عالم الميكروبيولوجيا والمناعة والحائز على جائزة نوبل



الشكل ١٩-١٥ . تأثير الإشعاع على الشيخوخة . ثلاثة فئران كلها في عمر ١٤ شهر وكحيوانات بالغة صغيرة ، أعطى ٩ فئران جرعات تحت محيطة من الأشعاع ، ٩ آخرين تركب بدون معاملة للمقارنة . فئران المقارنة (الى اليسار) لازالت ملساء (ناعمة) وقوية في عمر ١٤ شهر ، بينما ٦ من الفئران التي أُجرى لها أشعاع ماتت والثلاثة الباقية تظهر علامات الشيخوخة القصوى (الى اليمين)(صورة بحثية للدكتور هوارد ج . كيرتس).

سير/ماكفارلين بورنيت ( Sir Macfarlane Burnet ). ففي نظريته أن الساعة التي تقيس عملية الشيخوخة هي المعدل الذي عنده تحدث أخطاء في طريقة إصلاح الـ (DNA). وفي الباب الثاني عشر، تمت لنا معرفة بعض العوامل التي تسبب الطفرات . كما تمت معرفتنا أيضا بالأنزيمات - DNA polymerases ومشابهاتها - والتي تقوم بإصلاح الأجزاء التالفة من (DNA). و فقط عند فشل هذه الأنزيمات في وظيفتها تحدث الطفرات . وفي كلمات أخرى ، حتى إذا ما تلف جزء من الـ (DNA) بواسطة أشعة X ، أو الضوء فوق البنفسجي ، فإن الطفرات لم تكن تحدث إذا ما تم إصلاح التلف جيدا . وكما أن الطفرات الجسمية متجمعة داخل الخلية ، تبدأ مجموعة كبيرة من الجينات التركيبية في إنتاج بروتينات متلفة ، وهذه قد تقلل من كفاءة الخلية في عدة اتجاهات . ولكن إذا ما صادف أن يكون أحد تلك البروتينات المتلفة من الأنزيمات المسؤولة عن إصلاح الـ (DNA) فإن ذلك يسرع من الطفرات الجسمية . ونتيجة لذلك ، قد تصبح الخلية سرطانية أو تموت . ولربما كان فقدان الخلايا وهو المميز للأنسجة المكونة من خلايا لا تنقسم ، مثل المخ ، هو نتيجة التدمير بهذه الميكانيكية .

ويمكن لهذه الطريقة أن تمدنا بالكثير من خواص عملية الشيخوخة والتي دونها ، ولكن كيف يمكنها تفسير الشيخوخة السريعة للفأر ، بطول عمره الثلاث سنوات ،

والشيخوخة البطيئة للإنسان ، بعمره الذي يبلغ السبعين ؟ وطبقا للعالم برنت (Burnet) فكل نوع - نتيجة لتطوره - اكتسب رموزا جينية لأنزيمات إصلاح الـ (DNA) ومفاتيح إنزيمية أخرى ذات درجة من الدقة والكفاءة تخص طول عمر النوع . فهل يوجد دليل على ذلك ؟ في عام ١٩٧٤م سجل العالمان هارت (R. w. Hart) ، ستلو (R. B. Setlow) بعض الاكتشافات التي تتعلق بهذا السؤال . فقد أخذوا خلايا من أنواع مختلفة من الثدييات ووضعوها في بيئة نسيجية ، ثم قاما بإشعاع البعثات المختلفة بجرعة متماثلة من الأشعة فوق البنفسجية التي تدمر الـ (DNA) ، ثم قاما بعد ذلك بقياس الكفاءة التي قامت بها إنزيمات الخلايا لإصلاح الضرر . وكما يظهر في الجدول الموجود في الشكل (١٩-١٦) فإن الكفاءة التي أمكن بها الأنواع المختلفة أن تصلح الـ (DNA) الخاص بها كانت مرتبطة مباشرة بطول حياة هذا النوع .

وفي بعض الأنواع ، مثل فأر المنزل ، كانت أفضل استراتيجية للبقاء هي البلوغ

الشكل ١٩-١٦ : العلاقة بين طول العمر والكفاءة النسبية لإصلاح (DNA) في خلايا بعض أنواع الثدييات . وفي كل حالة تم إشعاع الخلايا التي تنمو داخل بيئة نسيجية بالضوء فوق بنفسجي ثم قدرت الكفاءة التي تمت بها عملية إصلاح الـ (DNA) (من إبحاث هارت ، ستلو ، ١٩٧٤) .

النوع	متوسط العمر بالسنة	الكفاءة النسبية لإصلاح الـ (DNA)
الإنسان	٧٠	٥٠
الفيل	٦٠	٤٧
البقرة	٣٠	٤٣
الهامستر	٤	٢٦
الجرذ	٣	١٣
الفأر	٢	٩
الشرو (حيوان شبيه بالفأر)	١	٨

سريعا، والتوالد عن طريق الأخصاب، والموت في عمر صغير. وفي الأنواع الأخرى، مثلنا نحن، كانت أفضل استراتيجية هي البلوغ ببطء (وتعلم الشيء الكثير أثناء ذلك)، والتوالد (التكاثر) باعتدال، والموت إذا ما تأكدنا من عدم إعطاء المزيد من أجل رفاهية أفراد نوعنا. وطبقا للعالم بورنت (Burnet) فإن الفأر المنزلي ونحن قد ورثنا جينات تمكننا من القيام بأستراتيجية كل منا: فبالنسبة للفأر، جينات تحمل إصلاحات للأنزيمات التي تقوم بعملها مع الكثير من الأخطاء، وبالنسبة للإنسان، جينات تحمل إصلاحات لإنزيمات بعيدة كل البعد عن إحداث أي خطأ في العمليات الحيوية الخلوية مثل تكاثر وإصلاح (DNA).

ولربما تشعر بالرعب لوجود الكثير من النظريات التي تشرح عملية حيوية مثل الشيخوخة. وفي الحقيقة، فإن هذا يعتبر طورا عاديا في نمو أي علم من العلوم، فكلما قلت الحقائق المعروفة، كلما زادت النظريات الغريبة. ولا يهم الآن أيا، إن وجد، من تلك النظريات تشرح بكفاءة حقائق الشيخوخة، فالمهم هو أن كل نظرية مستنبطة من الشيخوخة لا بد وأن تقترح إجراء تجارب محددة يمكن بها اختبار هذه النظرية. وإذا ما نجحت أي نظرية، أم لم تنجح في التنبؤ بنتيجة التجربة، فتكون على الأقل قد زودتنا بمعلومات جديدة. وكلما عرفنا الكثير عن الشيخوخة، كلما قلت النظريات التي توضح كل الحقائق، وهذا فقط، بعملية التقارب أكثر وأكثر من المعرفة، يمكننا من أن نتمنى إكتشاف حقيقة طبيعة عملية الشيخوخة.

وإذا ما كانت الشيخوخة مرتبطة ولو جزئيا بجينائنا، فهل من الأماكن إطالة أعمارنا عن طريق التطور؟ ليس هذا متوقعا. وكما سنرى في الباب الثالث والثلاثين، فالخواص الوحيدة التي يمكن لقوي التطور أن تعمل عن طريقها بطريقة إيجابية هي التي تظهر قبل أن ينتهي الكائن من تربية نسله. والبطء الغير طبيعي في الشيخوخة أو إطالته لن يمكن أكتشافها إلا بعد فوات فرصة ظهور هذه الخواص في عدد كبير من النسل. وإن لم تشجع الخواص الموروثة والتي تشجع إطالة الشيخوخة القوة (الشديدة) أثناء سنى التكاثر، فعندئذ يوجد القليل من إمكانية هذه الخواص كي تصبح ثابتة وعامة في العشيرة (التعداد). وبهذه العلاقة، يمكن معرفة كم من الأنواع الحية تبدأ في الشيخوخة بمجرد إنتهاء نشاطها التكاثري.

## ١٩-٧: الموت

## DEATH

يعتبر الموت من نتائج الشيخوخة، إذ كلما أصبحت أجهزة الجسم أقل كفاءة، يصبح الجسم غير قادر على مواكبة ضغوط الحياة. فالعدوي لا يكون من السهل السيطرة عليها، والانحرافات في كيميائية الجسم لا يكون من السهل تصحيحها. وأخيرا، يفشل أي عضو في القيام بوظائفه الحيوية، والتي يعتمد عليها باقي الأعضاء، وتكون نتيجة لذلك الموت.

وقد تفشل أعضاء أخرى أولا، إذ أننا نحدد الموت في الإنسان بالوقت الذي يقف فيه القلب عن النبض، ولا نندهش لذلك، إذا ما أخذنا في الاعتبار بأن القلب هو الذي يلعب الأدوار في نقل الغذاء والأكسجين إلى الخلايا. وبدون الغذاء والأكسجين تموت خلايا الجسم، وهي لا تموت كلها على أية حال على الفور إذ أنه حتى عندما يكون جسم الإنسان ميتا ككائن نشط، تعيش خلايا مختلفة لمدة قصيرة من الوقت. والخلايا العصبية هي من أوائل الخلايا التي تموت بسبب نقص الأكسجين، وتعتبر بعض خلايا الجلد من أواخر الخلايا التي تموت بمرور الوقت، ونفع ذلك فإن كل خلية في الجسم تموت.

وباختراع الآلات التي تعمل على إستمرارية الدورة الدموية والتنفس لمدة غير محدودة في المرضى الذين فشلت قدرتهم في الإبقاء على هذه الوظائف، أصبح من الضروري أن نعيد مراجعة اصطلاحنا عن الموت. فإذا إذن، يكون التعبير الذي نستخدمه عن الموت؟ وكما سنرى في الجزء السابع، أن الجهاز العصبي المركزي هو الذي ينظم أفعال الجسم، فبدون مخ كامل، فلا نكون سوى تجمعات من الخلايا. ولذلك، ففقدان المخ معناه موت الكائن حتى ولو لم تموت خلايا الكائن الأخرى جميعها.

ويتبع موت الخلايا الإذابة السريعة لمحتوياتها، وتوضح طريقة إضمحلال الخلايا بوضوح الحاجة إلى الإمدادات المستمرة من الطاقة للحفاظ على النظام المعقد للمادة والتي نسميها الحياة. وبمجرد إنقطاع الطاقة عن الخلايا، يتلف نظام محتوياتها الدقيق كلية ويسرعة.

ومن الصعب التفكير في كيفية أن موت الخلايا يمكن إعتباره أيضا طورا من أطوار

النمو. ومع ذلك، توجد أمثلة حيث يلعب فيها موت الخلايا دوراً هاماً في حياة الكائن وربما يكون حدوثه كنتيجة لضوابط جينية محكمة. وأحسن الأمثلة على ذلك تلك الموجودة في الحشرات ذات التطور الكامل، فمن التحول من يرقة إلى عذراء، يموت الكثير من خلايا اليرقة المتخصصة، وتقوم هذه الخلايا الميتة بتزويد المواد اللازمة لتمكين خلايا البراعم الجنينية (خلايا كامنة) الموجودة في اليرقة لتتحول تلك اليرقة إلى عذراء ثم إلى حشرة كاملة، وهذا الموت المنتشر في خلايا اليرقة هو في الواقع طور حيوي في النمو الكلي لهذه الحشرات.

وقد يحدث الموت المبرمج في بعض الأسماك، فاللامبري البحري والسالمون أمثلة معروفة، إذ عند بلوغها طور النضج، تهاجر تلك الحيوانات من المحيط إلى المياه العذبة في الأنهار وبحاري المياه حيث تضع الأنثى بيضها، وتخصبها الذكور، وبمجرد انتهاء هذا العمل، تموت الحيوانات البالغة. وتشبه تلك الظاهرة مثلها في النباتات الحولية التي ذكرت من قبل في هذا الباب، فإبعاد الجيل القديم يبدو وكأنه جزء من عملية النمو حيث أن الجنين الموجود الآن في البويضة المخصبة هو الذي يمثل الجيل الجديد.

وفي الأبواب العشرة الأخيرة، أمكننا التعرف على الكثير من أشكال طرق التكاثر. ويقع في مركز كل هذه الأشكال طبيعة وتعبير الضوابط الوراثية داخل الخلايا. وهذه الضوابط، وهي الجينات، تكون مرشداً لنمو الفرد إلى أن يصل إلى البلوغ ومرشداً لمروء الكائن إلى الجيل التالي عن طريق ميكانيكية التكاثر. وحاولنا البحث عن مفاتيح لمعرفة كيفية تنظيم الجينات، على مدى الأوقات ومن خلية إلى أخرى، حتى يمكن للكائن الحفاظ على نفسه وكذلك الحفاظ على النوع. وليس كافياً أن النسخة المختارة للجينات أن تكون قادرة على إنتاج كائن بالغ يقوم بوظائفه، فلا بد من إستمرارية الجينات أن تعمل إنتخابياً (Selectively) حتى يستطيع الكائن الإستجابة للتغيرات التي ستواجهه حتى حدوث الموت في النهاية. ولا بد لكل خلية متباينة في جسم الكائن أن تكون قادرة على أن تكيف ضوابط قدراتها الجينية للاستجابة للتغيرات التي تحدث خارج وداخل الكائن. أما عن كيفية تنظيم الكائنات عديدات الخلايا لأنشطة خلاياها فسيكون ذلك هو موضوع الجزئين السادس والسابع من هذا الكتاب.

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

تنمو الكائنات بأخذها مواداً من بيئتها أكثر مما تعطي إلى تلك البيئة كفضلات تمثيلها الحيوي . وتتجمع تلك المواد في تراكيب مميزة بالكائن ، وقد يؤدي ذلك إلى زيادة في عدد الخلايا ، أو حجمها ، أو كمية المواد (Matrix) الموجودة خارج الخلايا ، أو كل ذلك .

والتجديد هو إحلال الأجزاء المفقودة أو التالفة ، وكما في النشوء الجنيني ، يشمل التجديد تباين الخلايا وتنظيمها في نموذج محكم ، وفي الفقاريات تقل قوة التجديد عادة مع تقدم العمر .

والسرطان هو تكاثر في الخلايا لا يمكن السيطرة عليه . ويبدأ كل سرطان كخلية واحدة شاذة تنقسم بدون سيطرة عليها لإنتاج مجموعة متماثلة (Clone) هو الورم السرطاني الأولي . وتميل السرطانات إلى الانتشار ، أي أن الخلايا تنفصل بعيداً من الورم الأولي وتنمو أورام جديدة في أماكن أخرى من الجسم . والخلايا السرطانية هي خلايا متباينة جزئياً وتشبه الخلايا الجنينية في طرق شتى .

والتغير المضبوط الذي يجعل الخلية في أن تصبح سرطانية غير معروف . ومهما كان التغير ، فإنه ينتقل إلى جميع الخلايا الناتجة من الخلية الأصلية كأي صفة جينية . والإشعاع وبعض المواد الكيميائية التي تسبب الطفرات تسبب أيضاً السرطانات . ويسبب بعض السرطانات في حيوانات التجارب فيروسات ، وقد يكون هذا هو نفس الشيء في الإنسان .

وتشمل الشيخوخة إستمرارية إضمحلال تركيب ووظيفة الكائن . والشيخوخة ميزة خاصة لتلك الكائنات التي تتوقف عن النمو بعد وصولها إلى حجم معين . وسبب الشيخوخة غير معروف ، ولكن يوجد دليل قوي على أنها صفة ذاتية وداخلية للكائن وخلاياه .

ولو أن سبب الموت هو في الغالب عامل خارجي ، إلا أن الموت يصيب جميع الكائنات وحتى تحت العوامل البيئية المثلث . وفي كثير من الحالات ، يبدو أن الموت طور مبرمج وراثياً من أطوار النمو ، وفي كثير من النباتات والحيوانات يحدث الموت عند إنتهاء

التكاثر الجنسي .

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - لخص الميكانيكية التي بها يتحول البروتين البقرى الذي تأكله إلى بروتينات خاصة بك .
- ٢ - ما هو متوسط عدد أوقات الانقسام التي لابد لكل خلية من خلايا الطفل حديث الولادة أن تقوم بها لإنتاج رجل بالغ .
- ٣ - ماهو أفضل وصف لكائن ينمو بنشاط ، المتوالية العددية أم المتوالية الهندسية ؟ لماذا ؟
- ٤ - يشترى مطعم ١٠٠٠ كوب ماء كهربائي، وينكسر يوميا في المتوسط كوب كهربائي واحد، كل كوب مكسور يستبدل بكوب آخر مصنوع من زجاج شفاف . ماذا يكون شكل منحني الأكواب الكهربائية المتبقية ؟
- ٥ - ما هو الكائن من الكائنات التالية الذي تتوقع أن يكون له نفس منحني البقاء الموجود في السؤال الرابع :
  - (أ) الأفراد المتساوين في العمر في الولايات المتحدة الأمريكية،
  - (ب) الأفراد اللذين عاشوا في العصور قبل التاريخ،
  - (ج) البيغاوت في الأقفاص،
  - (د) العصافير في الطبيعة،
  - (هـ) التماسيح في الطبيعة.
- ٦ - ما نوع الطعام الذي تأكله فراخ الضفدعة ؟ ماذا تأكل ضفدعة بالغة ؟ ما الدلالة في اختلاف نوع الغذاء ؟
- ٧ - أكتب قائمة بكل العوامل التي يمكنك أن تفكر فيها والتي تؤثر في النمو في الإنسان .
- ٨ - ماهي أعضاء جسم الإنسان التي تجمد الأجزاء التالية منها بسهولة أكبر ؟ ما هي أعضاء جسم الإنسان التي تظهر فيها التغيرات الأضمحلالية بأقل ما يمكن عند الشيخوخة ؟
- ٩ - كيف تقارن القائمتين اللتين أعدتهما للسؤال رقم ٨ ؟ ما هو الشرع الذي



يمكنك إعطاؤه لذلك؟

١٠ - في أي الأوجه تشابه عمليتي التجديد والنشوء الجنيني؟ وفيهم يختلفان؟

## REFERENCES

## المراجع

- 1- BRYANT, P. J. SUSANV. BRYANT and V.FRENCH "Biological Regeneration and Pattern Formation," Scientific American. Offprint No. 1363, July, 1977.
- 2- CAIRNS, J., "The Cancer Problem", Scientific American, Offprint No. 1330, November, 1975. What cancer is and how life style influences the incidence of cancer in a population.
- 3- CAIRNS, J., Cancer: Science and Society. Freeman, San Francisco, 1978. A masterful account of the biology of cancer as well as the impact of cancer on society and vice versa. In paperback.
- 4- CROCE, C. M., and H. KOPROWSKI, "The Genetics of Human Cancer," Scientific American, Offprint No. 1381, February, 1978. How the incorporation of genetic information carried in the SV40 virus into chromosome 7 transforms human cells growing in culture into cancer cells.
- 5- NICOLSON, G., "Cancer Metastasis," Scientific American, Offprint No. 1422, March, 1979.
- 6- FOLKMAN, J., "The Vascularization of Tumors," Scientific American, May, 1976.
- 7- HAYFLICK, L., "The Cell Biology of Human Aging," Scientific American Offprint No. 1457, January, 1980.
- 8- WOOLHOUSE, H. W., Aging Processers in Higher Plants, Oxford Biology Readers, No. 30, Oxford University Press, Oxford, 1972.
- 9- KOHN R. R., Principles of Mammalian Aging, Foundations of Developmental Biology Series, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1971.
- 10- BISHOP, J. M., "Oncogenes," Scientific American, Offprint No. 1513, March, 1982. Explores the relationship between the cancer-causing genes of certain viruses and similar genes found in normal as well as cancerous cells.

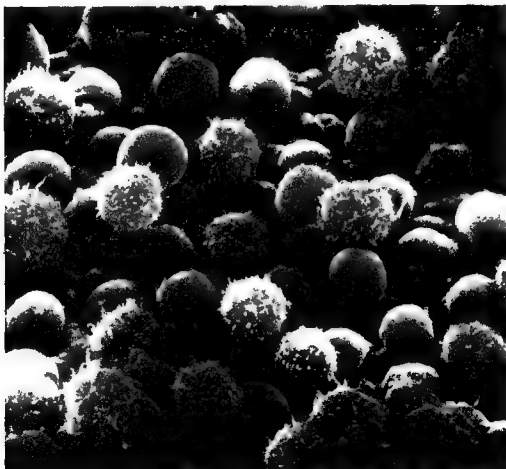


## PART VI

## القسم السادس

### تنظيم البيئة الداخلية

### REGULATION OF THE INTERNAL ENVIRONMENT





## CHAPTER 20

## الباب العشرون

### HETEROTROPHIC NUTRITION

### التغذية الشاذة

INTRODUCTION	مقدمة	٢٠-١
REQUIREMENTS OF HETEROTRPHIC NUTRITION	إحتياجات التغذية الشاذة	٢٠-٢
INTRACELLULAR DIGESTION	الهضم داخل الخلايا	٢٠-٣
EXTRACELLULAR DIGESTION	الهضم خارج الخلايا	٢٠-٤
A FILTER FEEDER:	التغذية بالترشيح:	٢٠-٥
THE CLAM	بلع البحر	
ACTIVE FOOD SEEKERS	النشيطون في البحث عن الغذاء:	٢٠-٦
GRASSHOPPER AND THE HONEY BEE	النطاط ونحلة العسل	
THE HUMAN DIGESTIVE SYSTEM	الجهاز الهضمي في الانسان	
INGESTION	البلع	٢٠-٧
THE STOMACH	المعدة	٢٠-٨
THE PANCREAS	البنكرياس	٢٠-٩
THE SMALL INTESTINE	الأمعاء الدقيقة	٢٠-١٠
THE LIVER	الكبد	٢٠-١١
THE LARGE INTESTINE	الأمعاء الغليظة	٢٠-١٢
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب	
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل	
REFERENCES	المراجع	



## الباب العشرون

### التغذية الشادة

#### INTRODUCTION

٢٠-١. مقدمة :

قمنا في الباب السادس بدراسة بعض خواص السائل الزائد (ECF) ولربما أن الميزة الكبرى للكائنات عديدة الخلايا بها من خلايا متباينة متخصصة، على الكائنات الأخرى وحيدة الخلية هي قدرتها على تنظيم هذا السائل الخلوي الزائد (ECF) في خلاياها. والدراسة الفسيولوجية للكائن عديد الخلايا هي، بمقياس كبير، دراسة آلة يمكن بها الحفاظ على تركيز الجلوكوز،  $A_p$ ، ك  $A_p$ ، الصوديوم (Na)، الهيدروجين ( $H^+$ )، الماء ( $H_2O$ ) وغيرها في هذا السائل الخلوي الزائد في حدود ضيقة، ويطلق على خاصية الحفاظ على المكونات الثابتة نسبياً والخواص الأخرى للسائل الخلوي الزائد تعبير هوميوستاسز (Homeostasis).

ويصل التحكم الهوميوستاسي في (ECF) إلى أقصى درجات الدقة في الطيور والثدييات. ففي تلك الكائنات، فإن تلك الآلة الهوميوستاتية، والتي يمكن تصنيعها بتباين الخلايا، تزود الخلايا ببيئة ثابتة ومثالية. وتدين الطيور والثدييات إلى حد كبير في مواعمتها للبيئة إلى حقيقة أن خواص سائلها الخلوي الزائد، أي بيئتها الداخلية (Internal Environment) تبقى ثابتاً غير متغير بالرغم من التغيرات الكبيرة في بيئتها الخارجية (External environment)، ومنذ أكثر من قرن، إكتشف عالم الفسيولوجيا الفرنسي كلود برنارد (Claude Bernard) العديد من العوامل الميكانيكية التي يستطيع بها حجم الحيوان الثديي أن يحافظ على الهوميوستاسز الخاصة به. ولقد أذهلته تلك المكتشفات وجعلته يكتب ما يلي: أن ثبات البيئة الداخلية هي حالة من حرية واستقلالية الحياة.

وفي أبواب الجزء السادس، منختبر عدداً من الآلات (المالكينات) الفسيولوجية التي تستطيع بها الكائنات أن تحافظ على تحكمها الهوميوستاتي أي خواص سائلها الخلوي الزائد (ECF) كما نسقوم أيضاً بدراسة بعض الآلات التي تدافع بها الفقاريات عن عالمها الداخلي من الطفيليات المهاجمة.

ولنختبر أولاً الطرق التي يمكن بها للكائنات الشاذة التغذية أن تضمن مدداً ثابتاً من المواد الغذائية العضوية لمقابلة الاحتياجات الخلوية بها.

## ٢٠-٢: متطلبات التغذية الشاذة

### REQUIREMENTS OF HETEROTROPHIC NUTRITION

تحتاج جميع الكائنات مدداً ثابتاً نسبياً من المواد والطاقة من البيئة حتى يمكنها أن تبقى على قيد الحياة. وفي كثير من تلك الكائنات، يأتي هذا المدد الرئيسي من المواد والمصدر الوحيد للطاقة من جزيئات عضوية معقدة نسبياً، وغنية في الطاقة، يمكن الحصول عليها بطريق مباشر أو غير مباشر من البيئة. (ما هو المصدر النهائي لتلك الجزيئات؟). فالتغذية التي يتدخل فيها الاعتماد على جزيئات عضوية مجهزة تسمى تغذية شاذة Heterotrophic. فالأحياء الدقيقة الخالية من الكلوروفيل، والنباتات القليلة الغير خضراء، وجميع الحيوانات، كلها شاذة التغذية.

فالجزيئات العضوية التي تستخدم كمصدر للمادة والطاقة هي السكر، والأحماض الأمينية، والأحماض الدهنية، والجليسول، (لأعراض التخليق synthesis فقط) والفيتامينات. وليست كل شواذ التغذية تعتمد على كل تلك الجزيئات العضوية. فبعض الأحياء الدقيقة على سبيل المثال، البكتيريا *E. coli* - تنمو على سكر فقط كمصدر لطاقتها، لكنها مع ذلك لا بد لها من الحصول على بعض المواد الغير عضوية مثل النترات كي يمكنها تخليق جميع مكوناتها العضوية الأخرى.

ويطلب الانسان الكثير من إحتياجاته من الجزيئات العضوية المجهزة، ويحتاج أيضاً علاوة على ذلك إلى مصدر كربوهيدراتي يحصل عليه جاهزاً، وثباتية من العشرين حامض أميني لاستخدامها في تخليق البروتينات (وهي التي يطلق عليها الأحماض الأصلية الأساسية - (الشكل ٢٠-١)، والتي منها يمكننا تخليق الإثنى عشرة الأخرى



من الأحماض الأمينية . ولو أنه يمكننا تخليق الدهون المشبعة من السكر، ولكن بعض الدهون الغير مشبعة لابد من أن يحتويها غذاء الإنسان . هذا وتكمل ثمانية أو أكثر من الفيتامينات قائمة إحتياجاتنا الغذائية (الشكل ٢٠-٢).

الشكل ٢٠-١ . من العشرين حامض أميني المستخدمة في تخليق البروتينات، فالعشرة أحماض أمينية المذكورة لابد من وجودها بالغذاء، إذ لا يمكن تخليقها بالجسم من مواد زائدة أخرى . وكثير من البروتينات النباتية لا تحتوي على كميات كافية من الليسين Lysine والترتوفان Tryptophan لمقابلة إحتياجات الانسان الغذائية .

#### الاحماض الامينية الضرورية

Arginine	أرجينين*
Histidine	هستيدين*
Iso leucine	أيزوليوسين
Leucine	ليوسين
Lysine	ليسين
Methionin	ميثيونين
Phenylalanine	فينيل ألانين
Threonine	ثريونين
Tryptophan	ترتوفان
Valine	فالين
* للأطفال فقط	

#### ٢٠-٣ . الهضم داخل الخلايا INTRACELLULAR DIGESTION

غالباً ماتتكسر أجزاء الطعام الصلبة إلى سائل يتكون نسبياً من جزيئات عضوية صغيرة، وقابلة للذوبان، قبل إمكانية إستخدامها بالكائنات الشاذة التغذية وتسمى تلك العملية بالهضم (Digestion). وفي بعض الكائنات شاذة التغذية، يحدث الهضم داخل الخلايا، أي، يحدث بعد أن تكون الأجزاء الصلبة قد تم احتواؤها (Engulfed) بالخلايا.

## الشكل ٢٠-٧: بعض الفيتامينات الرئيسية.

الفيتامين	المرض الناجب من نقص الفيتامين	المصدر	معلومات أخرى
أ) م ريتينول (Retinol)	العمى الليلي	اللبين، الزبد، زيت كبد السمك، الجزر، وبخضروات أخرى	رائد في تكوين أسهيات الماصة للحمض في العين، يوزن في الكبد. سام في إفراطات الكبيرة
فيتامين (Thiamine) ب <sub>١</sub>	البري بري - تلف في القلب والأعصاب	الحبوب، البيض، الحبوب النجيلية الغبر، مشوية	إيزيم مشترك في تنفس الخلايا
ريبوفلافين (ب) <sub>٢</sub> (Riboflavin-B <sub>2</sub> )	التهاب اللسان - تلف في العمود - ضمف حمام	الكبد، البيض، الحب، اللبن،	مجموعة فضالة للإنزيمات الفلافوبروتين المستخدمة في تنفس الخلايا.
حمض النيكوتين Nicotinic acid نياسين (Niacin)	البلاجرا (تلف بالجلد، بطلاقة الأمعاء، وداء الأعصاب)	الحبوب، اللحم، الزبد	يتحول إلى نيكوتيناميد، وهو رائد من رؤاد الـ NAD <sup>+</sup> - NAD <sup>+</sup> - إنزيمات مشتركة في تفاعلات الـ Redox في عملية
حمض الفوليك (Folic acid-Folacin)	الأنيميا	أوراق الخضروات الطرية، يمكن تحليله بالأكسدة الحمية	يستخدم في تخليق المركبات الإنزيمية المشاركة في أيض الأحماض النووية

يمكن تخليقه بواسطة البكتريا في الامعاء	الكبد	الايتحاط الحامض	(B) ب <sup>١٢</sup>
مرافق ايزومى مشترك في تخليق الكولاجين .	نثار الحامضيات ، الغلطام ، الغلغل الاعضفر	الاسمروط	حمض الاسكوربيك (C) Ascorbic acid (C)
يمكن تخليقه في جلد الانسان عند تعرضه للأشعة فوق البنفسجية	زيت كبد الاسماك ، الزبد ، الاهدية الحجرية حل السترويدات التي تم تصنيعها بالأشعة فوق البنفسجية	الكساح الأبيض الغير طبيعي للكلاسيوم (Ca <sup>++</sup> ) والفوسفات (PO <sub>4</sub> ) وينتج عنه تنمو غير طبيعي للعظام	(D) د
ربما يعمل كمكمل إحتزال في الجسم	لا يوجد مرض معروف في الانسان نتيجة مع البيضة ، السلاطة الحضراء ، الزيتون النباتية	نقص هذا الفيتامين	توكوفيرول (E) Tocopherol (E)
ملم لتخليق البروتين ، عامل أساسي في مجلط الدم	السلانيق ، الحضرات الورقية الأخرى ، يمكن تخليقه بواسطة بكتريا الامعاء	التجلط البطيء للدم	(K) ك

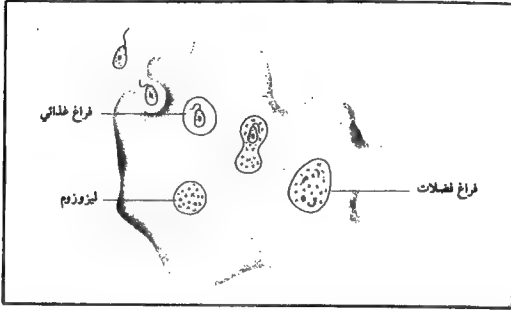
فتحتوي الأميبا المواد الصلبة كالأوليات الأصغر منها بعملية ابتلاع المواد داخل البلازما (Endocytosis) (انظر قسم ٦-٦)، توجد الفريسة داخل فراغ غذائي (Food Vacuole) موجود بداخل ميتوبلازم الأميبا، وبلي ذلك هضم الجزء الغذائي القابل للهضم بانزيمات تفرز داخل الفراغ بواسطة ليزوسومات Lysosomes تندمج معه (الشكل ٢٠-٣)، ثم بعد ذلك تمر الجزيئات الغذائية من خلال غشاء الفراغ الغذائي إلى بقية الخلية. أما عن الأجزاء التي لم تهضم، فتخرج إلى الخارج. ولو أن الهضم في الأميبا يمكن وصفه بدقة كعملية هضم داخل خلوية، فلا بد من أن نضع في الحسبان الغشاء المحدد الموجود بين المادة في فراغها الغذائي وبقية السيتوبلازم.

و واضح أن عملية ابتلاع المواد داخل الخلايا (Endocytosis) يمكن حدوثها إذا ما كانت المواد التي في متناول الكائن أصغر من الخلايا الأندوسيتية. ولا يوجد ما يدعو للدهشة، إذن، أن نعرف أن التغذية عن طريق ابتلاع المواد داخل الخلايا تكون قاصرة على الكائنات التي هيأت نفسها لضمان وجود المواد الغذائية الأصغر بكثير منها نفسها.

#### ٢٠-٤. الهضم خارج الخلايا: EXTRACELLULAR DIGESTION

والحلل الثاني لمشكلة هضم الطعام هو إفراز أنزيمات هضمية من الخلايا وهضم الطعام خارج الخلية. وبمجرد هضم الطعام، يمكن للجزيئات الصغيرة الناتجة القابلة للدويان (على سبيل المثال، السكريات، والأحماض الأمينية) أن تمر عن طريق خاصية الانتشار أو عن طريق النقل النشط خلال غشاء الخلية ومنه إلى الخلية.

ولربما يكون أبسط إقتراب للهضم خارج الخلايا هو الذي تقوم به الكائنات الرمية (Saprophytes)، وهي التي تضمن غذاءها من الأشياء الغير حية على شريطة أن تكون مواداً عضوية، مثل أجسام النباتات والحيوانات الميتة، والمنتجات الغذائية، ومواد الإخراج، وغيرها، فغذاء فطر عفن الخبز العادي (*Rhizopus stolonifer*) يتبع هذه المجموعة. وينمو هذا الفطر جيداً على قطعة خبز مبللة محفوظة في مكان مظلم (الشكل ٢٠-٤). والخبز، الذي ينتجه الإنسان من حبوب القمح الذي كان في يوم من الأيام نباتاً، يمد الفطر بجميع الاحتياجات الغذائية. فعزيمات النشا في الخبز كبيرة جداً، يصعب مرورها مباشرة خلال غشاء الخلايا. ولتحويل هذه الجزيئات الكبيرة والغير قابلة للدويان من جزيئات النشا إلى جزيئات صغيرة قابلة للدويان ويمكنها



الشكل ٢٠-٣. الهضم داخل الخلايا في الأميبا. إنزيمات الهضم المخزنة داخل الليزوزومات تحلل جزيئات غذاء الفريسة مائلا إلى جزيئات أصغر يمكن امتصاصها خلال الغشاء الفراغي إلى السيتوبلازم.

الدخول في السيتوبلازم، لا بد من وجود انزيم هاضم للنشا، ألا وهو الأميليز (Amylase). ويفرز الفطر هذا الانزيم في الخبز وبذلك يحدث الهضم خارج الخلايا، ثم تمتص بعد ذلك جزيئات السكر الناتجة في السيتوبلازم. وهذا النموذج من هضم الغذاء خارج الخلايا هو النظام النموذجي الموجود في جميع أنواع الفطريات والبكتيريا.

وأغلب الحيوانات، كذلك، تهضم غذاءها خارج الخلايا، ومع ذلك، نادراً ما تعيش تلك الحيوانات في مكان حيث تكون فيها محاطة كلية بالمواد العضوية. وبدلاً من ذلك، فهي تضمن من طريق أو آخر المواد الغذائية والتي تظهر من وقت لآخر في المنطقة المحيطة بها. وتصنع مثل تلك الحيوانات الغذاء في جيب أو أنبوية داخل جسمها، وهي طريقة تعرف باسم البلع (Ingestion)، ثم بعد ذلك تفرز إنزيماتها في هذه الأمكنة حيث يتم الهضم. وعلى ذلك فتوجد الانزيمات حيث يوجد الغذاء، بدلاً من إفرازها حراً في المنطقة المحيطة.

ولو أن البلع يوصف بأنه عبارة عن عملية أخذ مواد صلبة محتوية على الغذاء داخل الكائن إلا أن هذه المواد الصلبة تؤخذ فقط بوسيلة سطحية، فالتجويف أو الأنبوية التي



الشكل ٢٠-٤. فطر شائع  
(*Rhizopus stolonifer*) ناسي على  
قطعة خبز، ويؤمن هذا الفطر  
غذاءاً بالفراز إنزيمات هاضمة  
على الخبز ثم يقوم بامتصاص  
نواتج الهضم

تستقبل المواد الغذائية الصلبة هي في الحقيقة جزء من خارج الكائن وإنبجج للداخل (الشكل ٢٠-٥). فإذا ما ابتلع طفل قطعة رخام لن تدخل مطلقاً أي خلية أو حتى لن تشارك في أي نشاط خاص بالتمثيل الغذائي . وبعد يوم أو اثنين فإن قطعة الرخام هذه تخرج من الناحية الأخرى بدون أي تغيير.

## ٢٠-٥. التغذية بالترشيح : بلع البحر

### A FILTER FEEDER : THE CLAM

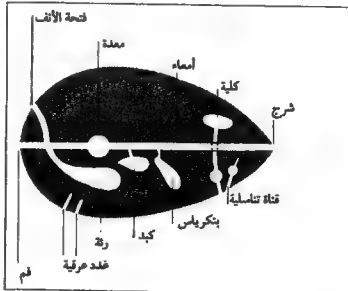
تتغذى بعض حيوانات المياه العذبة والكثير من الحيوانات البحرية عن طريق أخذها تياراً من الماء وترشح منه أي كائنات صغيرة قد تكون موجودة به ثم تبتلع تلك الكائنات في جهازها الهضمي لهضمها وامتصاصها. فالبارناكل (Barnacle) وقنفذ البحر مثالا من أمثلة الحيوانات التي تتغذى عن طريق عملية الترشيح . في حالة قنفذ البحر ، تزود أسطح الخياشيم بأهداب (Cilia) ، والضرب المنتظم لتلك الأهداب يسحب المياه العذبة إلى داخل فتحة سيفون التيار الداخل (الشكل ٢٠-٦) ، ثم تمر المياه بعد ذلك خلال مساحات في الخياشيم حيث تزود بالأكسجين لسد الاحتياجات التنفسية للقنفذ. وتغطي الخياشيم بطبقة سميكة من المخاط، أي

مادة صلبة في الماء، بما فيها الدياتومات، والبكتيريا، وغيرها، يتم حجزها في تلك المادة المخاطية. وتسقط المواد الصلبة الأكبر وكذلك المواد الغير قابلة للهضم من الحياشيم ويكتسحها سيفون التيار الخارج بواسطة أهداب مبطنة للقلنسوة (Mantle). ويتجه المخاط بحمله من المواد المنتقاة بعناية إلى الأمام للذهاب إلى الفم بينما يمر الماء المرشح للخارج خلال سيفون التيار الخارج، ثم يتم بعد ذلك ابتلاع المخاط المحمل بالجزئيات. وبعد الهضم، تطرد أية مواد باقية (البراز) من فتحة الشرج وتغر إلى الخارج مع تيار الماء عن طريق سيفون تيار الماء الخارج.

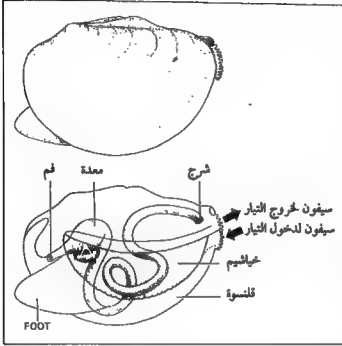
## ٢٠-٦. النشيطون في البحث عن الغذاء: النطاط ونحلة العسل

ACTIVE FOOD SEEKERS: THE GRASSHOPPER AND THE HONEYBEE

إن أغلب الحشرات وأغلب الفقاريات قادرة على سرعة الحركة وبالتالي تكون قادرة على البحث عن غذائها بنشاط. فالنطاط يتحرك من نبات إلى نبات بالمشي والقفز والطيران، كي تمكنه زوائد متخصصة حول فمه من إستهلاك كميات كبيرة من أوراق النبات بسرعة وبكفاءة (الشكل ٢٠-٧). وتغر المادة النباتية من الفم إلى القناة الهضمية للهضم والامتصاص، فتمر أولاً خلال المريء ثم إلى مخزن مؤقت يسمى الحوصلة (الشكل ٢٠-٧)، ومن الحوصلة ينتقل إلى القنوصة العضلية المبطنة بصفائح مجمعة وتؤدي حركة العضلات الذاتية لتلك القنوصة إلى طحن المادة الغذائية إلى جزئيات



الشكل ٢٠-٥. منظر  
تخطيطي للعلاقات المكانية  
الأساسية في حيوان  
ثديي. قننات الغدد  
الهضمية مستمرة مع سطح  
الجسم.



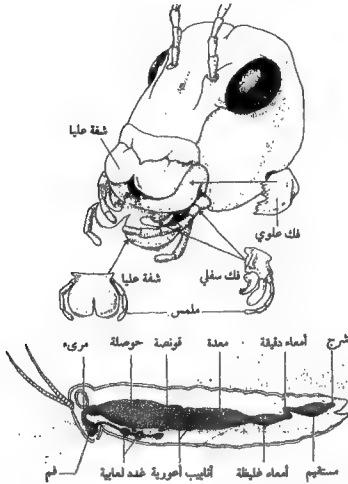
الشكل ٢٠-٦. الجهاز الهضمي في بلع البحر. ترشح الأجسام الغذائية بواسطة الخياشيم من الماء المسحوب للدخول خلال السيفون الذي يدخل من طريق الماء.

أصغر. ثم يمر الغذاء بعد ذلك إلى المعدة، حيث يتم الهضم، وتفرز إنزيمات الهضم المصنعة داخل ستة أنابيب أعورية غدية (Caeca) إلى داخل المعدة للقيام بتلك الوظيفة (الهضم)، وقد يدخل بعض الغذاء إلى داخل تلك الانابيب الأعورية أثناء هذه العملية، ثم يمتص الغذاء المهضوم وكمية كبيرة من الماء في الأمعاء، ويخزن البراز مؤقتاً في المستقيم قبل إخراجهِ، جافاً نسبياً، عن طريق فتحة الشرج.

وتختلف أجزاء فم شغالة نحلة العسل كلية في المظهر، وهي محورة للتعامل مع نوع مختلف من الغذاء، إذ تتغذى نحلة العسل والبالغة على غذاء سائل، وهو إما رحيق الأزهار أو عسل النحل المخزن في الخلية وتتحوّل الفكوك السفلي والشفة السفلي لتأخذ شكل أنبوبة يسحب بواسطتها الغذاء لأعلى إلى الفم بعملية الشفط (Pumping) الذي يقوم به اللسان. ويطلق على الجهاز كله اسم الخرطوم (Proboscis) (الشكل ٢٠-٨).

ويكون نصيب أغلب الرحيق الممتص بواسطة شغالة نحلة العسل هو أخذه إلى الخلية كي يتحول إلى عسل، إذ بعد أن يمر الرحيق إلى أسفل داخل المريء الطويل، يخزن في معدة العسل (الشكل ٢٠-٨). ويمنع الرحيق بطبيعة الحال من المرور من





الشكل ٢٠-٧. أجهزة تجهيز الطعام في النطاط. أجزاء الفم والقنوصة تسبب طحن الطعام. الأنابيب الأعورية والمعدة تقوم بالتكسير الكيميائي، أي الهضم.

معدة العسل إلى المعدة الحقيقية بواسطة صمام موجود بين المعدتين. وعند عودة الشغالة إلى الخلية، فإنها تتقيأ الرحيق في العيون السداسية لأقراص الشمع الموجودة داخل الخلية، وهنا تبدأ عملية تحول الرحيق إلى عسل.

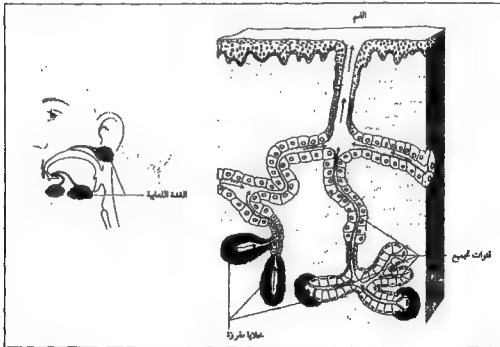
وتستخدم شغالة نحلة العسل فمها للتعامل مع المواد الصلبة كذلك مثل الشمع الذي تصنع منه الشغالة أقراص الشمع بالخلية، فتستخدم فكوكها العلوية لهذه العملية ولذلك ليس من المستغرب أن تكون الفكوك العلوية، لأجزاء فم شغالة نحلة العسل تشبه مثيلاتها في النطاط من حيث تركيبها.



النشا، والذي يحول النشا إلى سكر المالتوز. وغالباً ما يطلق على الأميليز إسم بيتالين "Ptyalin"، ولو أنه طبقاً للقواعد المتبعة في تسمية الانزيمات يفضل استخدام إسم الأميليز. ويمكنك تجربة فعل إنزيم الأميليز بسهولة بمضغ قطعة خبز غير محلاة، وبعد وقت قصير، يمكنك ملاحظة أن طعمها أصبح حلواً.

واللعاب هو فقط أول العديد من الافرازات التي تصب في القناة الهضمية وتساعد على الهضم. وفي كل حالة، يتم تخليق هذه الانزيمات في تراكيب خاصة تسمى الغدد، وتحمل قنوات هذه الافرازات من الغدد إلى القناة الهضمية ويكون السطح الداخلي لكل مخدة مستمراً مع السطح الداخلي للقناة الهضمية. وفي الحقيقة، فإن كل تلك الغدد الهضمية تتكون أثناء النشوء الجنيني من إنبعاثات خارجية للقناة الهضمية.

وعند إبتلاع الغذاء، يمر في البلعوم ثم المريء، والمريء أنبوبة مستقيمة ذات جدار سميك، وعضلي، ويصل بين البلعوم والمعدة، ويمتد المريء خلال الرقبة والفراغ الصدري، ويمكن تفهم وظيفته بصورة أفضل بأنها وسيلة سريعة لنقل الغذاء خلال



الشكل ٢٠-٩. نظام الغدد اللعابية في الانسان. وكما في جميع الغدد المفرزة، يمر إفراز تلك الغدد في جهاز من القنوات التي تؤدي بالتالي إلى خروج الجسم.

أعضاء الفراغ الصدري الكبيرة والحوية والغير مهضمة: الرتئين والقلب.

ويحتوي جدار المريء كذلك على غدد تفرز الميوسين وبذلك يتم تزييت المر الغذائي، وبمجرد وجود الكتلة الغذائية بداخل المريء، فإن حركتها تتوقف على العضلات الموجودة بجدار المريء والتي لا تخضع لتحكمنا الإرادي. فالعضلات الموجودة أمام كتلة الغذاء تنسبط بينما تلك الموجودة خلف كتلة الغذاء تنقبض، ونتيجة لذلك، تدفع الكتلة الغذائية إلى أسفل، وتسمى هذه الموجات الذاتية لانفراج وانقباض العضلات باسم "Peristalsis".

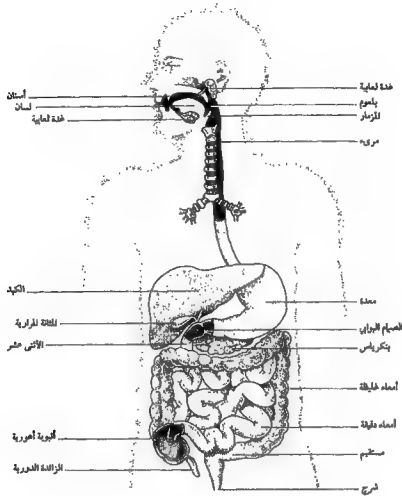
وأ أسفل الحاجز العضلي، الذي يفصل فراغ الصدر عن فراغ البطن، يتصل المريء بالمعدة، وتحيط حلقة من العضلات، هي الصمام البوابي، بالمريء عند هذه النقطة، وتستخدم كصمام ينسبط ليسمح بمرور الغذاء إلى المعدة بمجرد اقترابه من أعلى، ويظل مقفولاً دائماً في غير تلك الأوقات (وتتطلب عملية القيء بطبيعة الحال، فتح الصمام البوابي).

## THE STOMACH

## ٢٠-٨. المعدة

المعدة عبارة عن جيب كبير بأعلى فراغ البطن (الشكل ٢٠-١٠)، ويطن جدارها من الداخل بملايين من الغدد المعدية الصغيرة، والتي تفرز مجتمعة ٤٠٠ - ٨٠٠ مليلتر من العصير المعدي في كل وجبة، ويختلط الطعام الداخل جيداً بالعصير المعدي عن طريق انقباضات عضلية شديدة للمعدة.

وتوجد ثلاثة أنواع من الخلايا في الغدد المعدية: خلايا جدارية Parietal، وخلايا رئيسية (Chief) والخلايا المفرزة للمخاط. وتفرز الخلايا الجدارية حمض الهيدروكلوريك في المعدة، ويساوي تركيز هذا الحمض (١٥، ٠ M) جاعلاً تركيز أيون الهيدروجين في العصير المعدي قريباً من (١). فإذا ما علمت أن تركيز أيون الهيدروجين في الدم الذي يغذي الخلايا الجدارية. يعادل فقط (٤ × ١٠<sup>-١٠</sup> M) يمكنك تصور العمل الفذ الذي تقوم به هذه الخلايا. وبالنقل للنشاط تحصل تلك الخلايا على أيونات كافية من الهيدروجين لإنتاج تركيز أكثر من ٣ ملايين مرة لهذه القيمة. ومن المدهش حقاً، عندئذ، أن الخلايا الجدارية هي مستهلك كبير للطاقة وممتلئة على الخصوص بالميتوكوندريا.



ولحامض الهيدروكلوريك في العصير المعدي عدة وظائف نافعة: (١) فهو يساعد على قتل البكتيريا الموجودة في الغذاء الداخل للمعدة، (٢) يساعد على تغيير طبيعة البروتين بتكسير النسيج الضام، وغير ذلك لتسهيل عملية الهضم، (٣) يساعد على تنشيط الببسين، وهو إنزيم الهضم الوحيد الذي تفرزه المعدة.

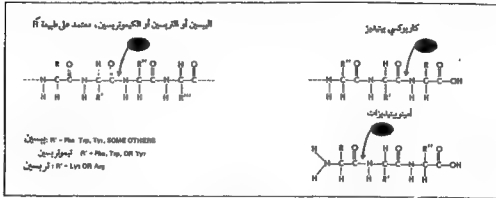
وتعمل الخلايا الرئيسية على تخليق وإفراز الببسينوجين، وهو باديء إنزيم الببسين، وبمجرد التعرض للدرجة التركيز الحامض (pH) للعصير المعدي، يتم هضم كسرة من جزيئاته، تاركاً الانزيم الفعال. ولا يحلل الببسين تحليلاً مائياً البروتينات الموجودة بالغذاء فقط، ولكنه أيضاً يحلل الببسينوجين الزائد، وهو ما يسرع من تحول الببسينوجين إلى ببسين.

ويظهر البسبين التميؤي عند مواقع معينة من حلقات عديد الببتيد، كما أنه فعال جيد في إنقسام روابط الببتيدات على النهايات الكربوكسيلية للأحماض الأمينية أمثال التيروسين، الفينيل ألانين، التريوفان (الشكل ٢٠-١١). وكنتيجة لفعله، فالسلاسل الطويلة لعديد الببتيد تنكسر إلى أطوال أقصر.

ويتكون جدار المعدة في غالبيته من البروتين، فلماذا إذن لا تهضم المعدة نفسها؟ السبب هو عامل واحد، وهو طلاء للحماية ويتكون من الخلايا المفرزة للمخاط في المعدة. علاوة على ذلك، تتصل خلايا المعدة الطلائية ببعضها البعض باتصالات متينة (انظر قسم ٥-٢٤)، بذلك تمنع دخول أي زيادة من العصير المعدني إلى داخل أسطحها الغير محمية. ويعرقل إفراز البسبين على هيئة الباديء اللبسينوجين نشاط الهضم البروتي (Proteolytic) لحين وجود الانزيم آمنا في فراغ المعدة (قناة المعدة). وبالرغم من وجود وسائل الحماية هذه، فإنه يحدث فقد كبير في الخلايا الطلائية، إذ لا يزيد طول عمرها عن عدة أيام، ويتطلب هذا مستوى سريع لإحلال الخلايا. وبطبيعة الحال، قد تفشل وسائل الحماية هذه في بعض الأحيان والنتيجة هو قرحة المعدة، وهو تلف موضعي لبطانة المعدة.

واكتشف العالم الروسي الفسيولوجي الشهير إيفان بافلوف (Ivan Pavlov) عام ١٨٩٠ م ميكانيكية التحكم في إفراز العصير المعدني، إذ وجد أنه بعد قطعة للأعصاب المؤدية إلى معدة الكلاب، قلت كمية الإفراز المعوي بنحو ٢٥٪، وبدل هذا دلالة قاطعة، ولكن غير كاملة، إن الجهاز العصبي يتحكم في الإفراز المعدني. فلماذا إذن عن الـ ٧٥٪ الباقية؟ عزي بافلوف ذلك إلى إفراز هرمون في الدم بمجرد دخول الغذاء إلى المعدة، والذي ينبه المعدة أيضاً لإفراز العصير المعدني. واختبر بافلوف هذه النظرية بإيصال الجهازين الدوريين لكل الكلبين، فعند تغذية أحد الكلبين، يمضي فقط وقت قصير قبل أن يبدأ الكلب الآخر في إفراز العصير المعدني أيضاً، كما أفرز الكلب الثاني، على أية حال، ٧٥٪ فقط من الكمية العادية. والآن نحن نعرف أن الهرمون جاسترين (Gastrin) يفرز بواسطة خلايا خاصة في المعدة عند دخول الغذاء إلى تلك المعدة.

وهذه الخلايا المفرزة للجاسترين يتم تنبيهها على الخصوص بوجود الببتيدات (ومن مثل تلك المواد الكافيين والايثانول). والهرمون جاسترين هو عديد الببتيدات ويحتوي على ١٧ حمض أميني، يدخل إلى مجرى الدم ويحمل إلى باقي أجزاء الجسم. وعند



الشكل ٢٠-١١. الفعل المائي للبروتينات المختلفة.

رجوع الدم المحتوي على هذا الجاسترين إلى المعدة فإنه ينه الخلايا الجدارية لإفراز حمض الهيدروكلوريك. وفي تجربة بافلوف، يمر هرمون الجاسترين إلى مجرى الدم للكلب الثاني، منها الخلايا الجدارية به أيضا.

ويحدث القليل من امتصاص المواد في المعدة، فبعض الماء، وقليل من الأيونات وعقارات مثل الأسبرين والايثانول، يتم امتصاصها في الدم (وتساعد بذلك للظهور السريع للايثانول في الدم بعد تناول شراب).

وتتحول محتويات المعدة إلى مادة سائلة تمر خلال الصمام الموجود عند الطرف الأسفل ثم إلى الأمعاء، والتي تسمى العشر بوصات الأولى منها بالاثني عشر (Duodenum)، تؤدي فتحة جدار الاثني عشر إلى قناتين واللتين، بدورهما، تصب فيهما غدتان هضمتان كبيرتان هما البنكرياس والكبد.

## THE PANCREAS

### ٢٠-٩ البنكرياس

البنكرياس عضو مستطيل، أبيض، غدي، يقع في العروة (Loop) التي تكونها الاثني عشر مع السطح السفلي للمعدة. وتفرز الخلايا الإفرازية في البنكرياس السائل البنكرياسي الذي يمر بعدئذ في القناة البنكرياسية ثم إلى الاثني عشر، ويحتوي السائل البنكرياسي على المواد التالية:

(أ) بيكربونات الصوديوم (ص. يد. ك. أ.) وتعمل على تعادل حموضة محتويات الأمعاء وذلك بالرفع السريع لدرجة الحموضة (pH) إلى نحو ٨.

(ب) إنزيم الأميليز، ويعمل على التحليل المائي للنشا ويحولها إلى مزيج من المالتوز والجلوكوز، لأن مفعولية هذا الانزيم تطول لمدة طويلة، فهو يلعب دوراً هاماً في هضم النشا أكثر من أميليز اللعاب.

(ج) إنزيم الليبيز (Lipase) ويعمل على التحلل المائي للدهون التي يتناولها الانسان ويحولها إلى مزيج من الأحماض الدهنية والجليسيريدات الأحادية، ومحدث ذلك بتنشيط الفصل الكيميائي للأحماض الدهنية الملتصقة بذرات الكربون ارقام ١ ، ٣ للجليسرول. أما عن الأحماض الدهنية الملتصقة بالكربون رقم ٢ فتبقى لانتاج الجليسيريد الأحادي.

ويسرع عمل إنزيم الليبيز كثيراً وجود الصفراء (Bile) التي تحتوي على أملاح الصفراء، وهي استيرويدات مزدوجة المحبة للماء والتي تلعب دوراً هاماً في تحويل الدهون المأكولة إلى مستحلب. ويلوب الهيكل الكاره للماء للاسترويد في الدهون بينما تكون حلقة الجانب السالبة الشحنة حرة في التفاعل مع جزيئات المياه القطبية، والأزاحة المتبادلة للنقط السالبة الشحنة تمنعها من الالتحام (أنظر الشكل ٢٠-٦). وعلى هذا فإن كرات كبيرة من الدهون (سائلة تحت درجة حرارة الجسم العادية) تصير مستحلبة في نقاط صغيرة (نحو ١ ميكرون في القطر) كي يمكن هضمها بسهولة أكبر ثم امتصاصها.

(د) إثنان من إنزيمات البروتيز وهما : التريسين (Trypsin) والكيومتريسين (chymotrypsin)، ويستمر عمل هذين الانزيمين في هضم البروتين كما يهاجم الكيومتريسين نفس الروابط الببتيدية التي يهاجمها البيسين (يتوقف عمل البيسين عند ارتفاع درجة حموضة محتويات الامعاء (pH) بواسطة بيكربونات الصوديوم). ويهاجم التريسين حلقات الببتيد عند النهايات الكربونية في وحدات الأرجينين والليسين (الشكل ٢٠-١١). وكما في البيسين، فإن التريسين والكيومتريسين يتم إفرازهما في صورة غير نشطة فقط وعندما يكونان في الاثنى عشر يتحولان إلى الحالة النشطة.

(هـ) إنزيم الكاربوكس ببتيداز (Carboxypeptidase) وهو يبعد الأحماض الأمينية الموجودة على النهاية الكربونية في الجزيئات الببتيدية واحداً تلو الآخر (الشكل ٢٠-١١)، على ذلك، فهو يساعد في التحلل الهضمي للببتيدات إلى أحماض أمينية.



(و) إنزيم النيوكليز (Nuclease) والذي يعمل على التحلل المائي للاحماض النووية التي تم دخولها بالجسم (DNA . RNA) إلى النيوكليوتيدات المكونة لها (Nucleotides).

ويخضع إفراز السائل البنكرياسي لضوابط هرمونية، فعند دخول المحتويات الحامضية للمعدة إلى الاثنى عشر، فإن بعض الخلايا الموجودة في جدار الاثنى عشر تفرز هرموني السكرتين (Secretin) والكولي سيستوكينين (CCK - Cholecystokinin) في مجرى الدم. وعند ذهابها إلى البنكرياس، فإن هذين الهرمونين ينبهان إنتاج وإفراز السائل البنكرياسي. ويؤثر إفراز السائل البنكرياسي أساساً على إفراز محلول بيكربونات الصوديوم، بينما ينبه الـ (CCK) إنتاج إنزيمات الهضم.

وفي وقت من الأوقات، كان يستخدم إسم البنكريوزيمين (Pancrozymin) للانزيم الثاني من الانزيمين السابقين، ولكن فيما بعد أصبح واضحاً أن رجال الأبحاث الذين يقومون بدراسة هرمون يسمى كولي سيستوكينين، الذي يعمل على كيس المرارة (قسم ٢٠-١١)، وكذلك هؤلاء الذين يقومون بدراسة البنكريوزيمين كانوا في حقيقة الأمر يقومون بدراسة نفس المادة: عديدة الببتيدات التي تحتوي على ٣٣ حمض أميني. وكما يقوم الرجل الأعمى بوصف فيل بتحسنة للطرفين المتضادين له، فكذلك فرق البحوث المختلفين بأهداف وطرق عمل مختلفة ودائماً ما ينتهوا بأنهم يقومون بدراسة نفس الشيء. فالاسم كولي سيستوكينين استخدم أولاً وبقي كذلك.

## ٢٠-١٠. الأمعاء الدقيقة : THE SMALL INTESTINE

ويمرور خليط الغذاء والمرارة وإنزيمات البنكرياس خلال الأمعاء الدقيقة تنتج السكريات الثنائية والببتيدات والأحماض الدهنية والمونوجلسريدات. والهضم النهائي والامتصاص لتلك المواد هما من وظائف الخيائل (Villi) البطنية للسطح الداخلي للأمعاء الدقيقة (الشكل ٢٠-١٢). وتزيد الخيائل المساحة السطحية للأمعاء الدقيقة لعدة مرات وكأنها بساطة أنبوية ذات جدر ملساء. وعلاوة على ذلك فإن السطح المعرض للخلايا الطلائية بكل خميلة مغطى بتتوءات أو خيائل أصغر (The Microvilli) أو أهداب مكونة من زوائد بروتوبلازمية يطلق عليها (Brushborder) (الشكل



الشكل ٢٠-١٢. الخيائل تفرش السطح الداخلي للأمعاء الدقيقة كما ترى بالميكروسكوب الإلكتروني السطح. (بصريح من كيث ر. بورت).

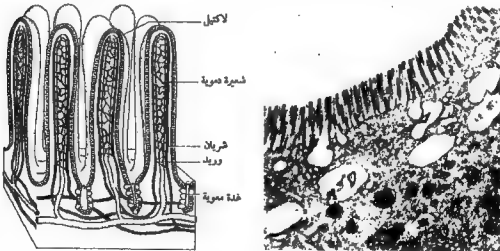
٢٠-١٣). والفضل كله لهذه الخيائل الدقيقة ، إذ تصبح مساحة السطح الكلي للأمعاء الدقيقة نحو ٢٠٠ متر مربع ، وهو يعادل حجم ملعب التنس ونحو ١٠٠ من مساحة سطح الجسم من الخارج ويضم سطح الخيائل الدقيقة عدداً من الانزيمات التي تكمل عملية الهضم ، فالعديد من إنزيمات الأمينوبيبتيداز (Aminopeptidases) تكمل التحلل المائي للبيبتيدات وتحولها إلى أحماض أمينية ، وتعمل الانزيمات المذكورة بطريقة مشابهة لانزيم الكاربوكس ببتيداز (Carboxypeptidase) ولكنهم تهاجم نهاية الأمينو (NH<sub>2</sub>-Terminal) في جزيئات البيبتيد بدلاً من النهاية الكربونية (شكل ٢٠-١١).

وتوجد ثلاثة إنزيمات لثنائيات السكر (Disaccharidases) مركزة على أوف الخيائل الدقيقة وهي تحلل مائياً السكريات الثنائية مثل المالتوز والسكريوز واللاكتوز إلى مكوناتها الأحادية. وينفصل كل جزيء مالتوز إلى جزيئين جلوكوز وهذا يكون الجلوكوز هو الناتج النهائي لهضم النشا. ويعطي السكريوز (سكر المائدة العادي) جزيء جلوكوز وأحد مشابهاهه الفركتوز ، بينما يعطي اللاكتوز (سكر اللبن) جلوكوز وجاللاكتوز (الشكل ٢٠-٩).

ويُفعل هذه الانزيمات، يأتي هضم البروتين والكربوهيدرات إلى النهاية، التي كانت من قبل جزيئات كبيرة أصلاً تحولت الآن إلى جزيئات صغيرة (أحماض أمينية وسكريات أحادية). وجاهزة للمرور في مجرى الدم.

وكل خلية تزود بكثرة بالدم الذي يمر عبر شبكة من الأنابيب الدقيقة التي يطلق عليها اسم شعيرات دموية (Capillaries)، تمر السكريات والأحماض الأمينية وكذلك الفيتامينات والأملاح والماء من محتويات الأمعاء الدقيقة إلى تلك الشعيرات الدموية بالخلايا. وربما يحدث هذا الانتقال عن طريق الانتشار في بعض الحالات، ولكن قد تتدخل عوامل ميكانيكية أخرى أيضاً. فالجلوكوز، على سبيل المثال، يستمر في أن يمتص حتى ولو أصبح تركيزه في سائل الأمعاء الدقيقة أقل من تركيزه في الدم (نحو ١٠ ٪)، ويتم هذا الامتصاص بالنقل النشط، وقد تدخل بعض المواد خلايا الخلايا بواسطة خاصية ابتلاع المواد داخل البلازما (Endocytosis).

وبمجرد وجودها داخل خلايا الخلايا، فإن الأحماض الدهنية والجليسريدات الأحادية الممتصة يتم تخليقها إلى دهون، ويحدث هذا في الشبكة الإندوبلازمية المسماة في تلك الخلايا. وتطرد الحبيبات الصغيرة الدهنية عن طريق خاصية طرد المواد خارج



الشكل ٢٠-١٣. الخلايا يسار: دهون ممتصة تدخل اللاكتيلات، المواد الممتصة الأخرى تدخل الشعيرات الدموية. يمين: صورة إلكترونية (٩٠٠٠) للخلايا الدقيقة في خلية أمعاء فأر. (بتصريح من دكتور ل. كلارك-الصفير. طبعت بتصريح من مطبعة معهد روكفلر، المجلة الفسيولوجية الحيوية والكيمياء الحيوية لعلم الخلية، ٥: ٤١-٥٠، ١٩٥٩).

البلازما (Excytosis) إلى داخل الخبائث . ولا تدخل تلك الحبيبات شبكة الشعيرات الدموية، إذ بدلاً من ذلك فهي تدخل القناة اللبنية (Lacteal)، حيث أن جذرها أكثر مسامية، والقنوات اللبنية للخبائث هي جزء من الجهاز الليمفاوي. وسيتم شرح مورفولوجية وفسيولوجية هذا الجهاز الليمفاوي في الباب الرابع والعشرين. وبمجرد وجودها داخل القنوات اللبنية فإن الحبيبات الدهنية تحمل ببطء خلال الجهاز الليمفاوي إلى أن تصل إلى الجهاز الدوري الدموي المعتاد. ويعد وجهه غنية بالدهن، تأخذ تلك القنوات اللبنية شكلاً أبيض لبني المظهر (لاك - Lac هي الكلمة اللاتينية للبن) وذلك بسبب العدد الكبير من الحبيبات الدهنية الموجودة بداخلها.

## ٢٠-١١. الكبد

### THE LIVER

ولو أن الكبد ليس من أعضاء الهضم بمعنى الكلمة، فإن إفرازه، أي الصفراء bile، يلعب دوراً هاماً في هضم الدهون. وتنتج الصفراء باستمرار بواسطة الكبد، ولكن بين الوجبات تجتمع الصفراء في عضو تخزين، هو كيس المرارة. وعند دخول الغذاء الاثنى عشر، فإن إفراز الكولي سيستوكينين ينه إنباض كيس المرارة وبذلك تخرج محتوياتها المتجمعة من الصفراء إلى الاثنى عشر.

وأفعال الـ (CCK) الجاسترين والسكرتين، توضح حقيقة هامة عن التحكم الهرموني. ففي كل حالة، يحمل الهرمون المفرز بواسطة الدم إلى كل جهاز، وكل نسيج، وكل خلية من خلايا الجسم. وتوجد فقط بعض الأجهزة، على أية حال، قادرة على الاستجابة لوجود الهرمون، وتسمى مثل تلك الأجهزة بأجهزة الهدف (Target Organs).

وتحتوي الصفراء على مواد أخرى بجانب أملاح الصفراء، ومن تلك المواد حبيبات الصفراء وهي من نواتج تكسير حبيبات الدم الحمراء، والهيموجلوبين والتي يبعدها الكبد من خلايا الدم الحمراء القديمة، واللون البني لحبيبات الصفراء هو السبب في لون البراز البني.

وتكوين الصفراء هو واحد فقط من العديد من الوظائف الغذائية الهامة التي يقوم بها الكبد. وقبل وصول الدم الذي يترك الخبائث إلى الدورة الدموية العامة، فهو يمر

في الكبد، وهنا تغربل المكونات الغير عادية (مثل الجزيئات الغير غذائية) التي إنقطت عن طريق الامتصاص من الأمعاء الدقيقة أو أية كميات زائدة من المكونات العادية. فجميع السكريات الأحادية، فيها عدا الجلوكوز (مثل الفركتوز والجالاكتوز) تبعدها الكبد وتحولها إلى جلوكوز وإذا كان الجلوكوز موجوداً في الدم بنسبة زائدة عن المعتاد وهو تركيز ١, ٠٪ فإن أغلب هذه الزيادة تبعد وتتحول إلى جليكوجين وهو من عديدات السكريات الغير ذائبة.

والأحماض الأمينية الزائدة عن الإحتياجات البنائية للجسم تبعدها الكبد أيضاً، وفي تلك العملية، فإن جزء الأمين المحتوي على النتروجين ( $\text{NH}_2$ ) تبعده الكبد، فيما بعد يتحول هذا الجزء إلى فضلات نيتروجينية، هي اليوريا، وسيتم شرح ميكانيكية تلك العملية في الباب الخامس والعشرين. ويمكن لبقايا الحمض الأميني الخالي من النيتروجين بعد ذلك دخول ممر الأيض للتنفس الخلوي والتأكسد للحصول على الطاقة، وتمت دراسة تفاصيل هذه الميكانيكية في الباب السابع.

ونظام الأوعية الدموية التي تحمل كل الدم الآتي من الأمعاء عن طريق الكبد قبل مروره إلى الدورة الدموية العامة يطلق عليه الجهاز البابي الكبدي (Hepatic portal system) ويعنى حقيقي، يعمل هذا الجهاز كمحارس البوابة بين الأمعاء وبين الدورة الدموية العامة. وفي هذا الدور، تنقى الكبد الدم المار بها حتى يكون تركيب الدم بعد تركه الكبد هو التركيب الطبيعي للكائن. وعلى سبيل المثال، وحتى بعد وجبة غنية بالمواد النشوية والسكرية، فإن مستوى الجلوكوز في الدم الخارج من الكبد لا يكون أعلى بكثير عن المستوى العادي وهو ١, ٠٪. ومن جهة أخرى، إذا بدأ تركيز الجلوكوز في الدم في النزول بين الوجبات، فإن الكبد تقوم بتحليل كمية كافية من مخزون الجليكوجين الموجود بها للبقاء على المستوي ١, ٠٪. ويعبارة أخرى، فإن الكبد تعتبر من أهم الوسائل في جسم الإنسان التي تحافظ على ثبات السائل الخلوي الزائد (ECF) وبالتالي الحفاظ على مكونات وخواص هذا السائل الخلوي الزائد المذكور. وفي الباب السابع والعشرين، سيتم شرح دور الكبد في الحفاظ على مكونات وخواص هذا السائل الخلوي الزائد وخاصة محتوياته السكرية.

## THE LARGE INTESTINE

## ٢٠-١٢. الأمعاء الغليظة

تؤدي الأمعاء الدقيقة إلى الأمعاء الغليظة، ويوجد صمام يتحكم في مرور المواد من مكان إلى آخر، ويوجد خلف هذا الصمام مباشرة جيب منفصل هو الأعور (Caecum)، ويتصل بالأعور هذا بروز صغير، هو الزائدة الدودية أو المصران الأعور (Appendix) والتي تعتبر البقايا الاثرية لتركيب ربما كانت وظيفته هضم السليولوز في بعض الأجداد الأوائل للإنسان. وتهمنا الزائدة الدودية في إحتال إصابتها بالعدوى فتسبب إنتهاب الزائدة الدودية appendicitis. وقد تسبب العدوى الشديدة في تمزق الزائدة الدودية فتنتشر العدوى إلى الأغشية المبطننة لتجويف البطن والمعدة للأعضاء (الأحشاء viscera) الموجودة بداخله. وتعرف هذه الحالة بإصابة الغشاء البريتوني (Peritonitis).

وتتلقى الأمعاء الغليظة بقايا سائل المواد التي تركب بعد انتهاء عمليات الهضم والامتصاص في الأمعاء الدقيقة، وتحتوي هذه البقايا على كميات كبيرة من الماء وكذلك على المواد التي لم تهضم (وخاصة السليولوز) ويعمل السليولوز وبعض بقايا المواد الغذائية الأخرى على تغذية التعداد الهائل من البكتيريا التي تعيش في الأمعاء الغليظة. وهذه البكتيريا في العادة (ومنها نوع منتشر وهو النوع الذي تمت دراسته بإسهاب *Escherichia coli* غير ضارة تماماً. وأثناء عمليات نشاطها الحيوي، فإن تلك البكتيريا قد تفرز غازات ومواد سامة أخرى ذات رائحة. وتتكاثر هذه البكتيريا بكثرة لدرجة أن ١٠-٥٠٪ من الوزن الجاف للبراز قد يتكون من تلك الخلايا البكتيرية.

ومن وقت إلى آخر، قد توجد بكتيريا ضارة أو بروتوزوا في الأمعاء الغليظة. فحمى التيفود، والكوليرا الأسيوية، والدوسنتاريا الأميبية هي تلك الأمراض التي تسببها الطفيليات المعوية، وقد تغزو هذه الطفيليات أعضاء أخرى من الجسم مثل الكبد مسببة ضرراً بالغاً.

والوظيفة الرئيسية للأمعاء الغليظة هي إعادة إمتصاص الماء، إذ تفرز كميات هائلة من الماء في المعدة والأمعاء بواسطة غدد الهضم العديدة ولا بد من تعويض هذه الكمية إذا ما أردنا أن نجنب الحيوان المعاناة من الجفاف والعطش. ويعد إمتصاص أغلبية الماء في الأمعاء الغليظة أثناء الساعات ١٢-١٤ من بقاء بقايا الغذاء في تلك الأمعاء. وأحياناً تصبح الأمعاء الغليظة معرضة للهياج وتطرد محتوياتها إلى المستقيم ثم إلى الخارج

عن طريق فتحة الشرج قبل الانتهاء من إكمال عملية إعادة الامتصاص، ويطلق على الحالة الناتجة عن ذلك بالإسهال (Diarrhea)، ولربما أنك قد لاحظت ظاهرة العطش التي تصاحب الإصابة بالإسهال. من جهة أخرى، قد تحتفظ الأمعاء الغليظة بمحتوياتها لمدة طويلة فتصبح مادة البراز، والتي تسمى بهذا الاسم الآن، جافة وتنضغط في كتل جافة وصلبة، وتعرف هذه الحالة بالإمساك (Constipation).

ويمر البراز من الأمعاء الغليظة إلى المستقيم في أنبوبة على شكل حرف S، وهنا تبقى المواد البرازية لحين إنفراج المصين اللذين يحرسان فتحة الشرج، وتحدث موجات ذاتية قوية تطرد البراز إلى الخارج.

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

تحتاج جميع الكائنات مواداً من الجزئيات العضوية الصغيرة لتعمل كوقود وكمواد يبدأ بها الكائن تخليق الجزئيات الأكبر المميزة لهذا الكائن. ويتكون غذاء معظم الكائنات شاذة التغذية من مزيج من تلك الجزئيات الكبيرة. وقبل أن تلي تلك الجزئيات الكبيرة الإحتياجات الغذائية للكائن، فلا بد لها من أن تهضم. والهضم هو تحلل الجزئيات الكبيرة إلى الوحدات الأصغر التي تتكون منها.

ويحلل الأميليز النشا إلى مزيج من المالتوز والجلوكوز. ويحلل الليباز الدهون إلى مزيج من الجليسيرول والأحماض الدهنية، والجليسيريدات الأحادية. ويحلل البروتياز البروتينات إلى مزيج من الببتيدات. ويكمل الببتيديز هضم البروتينات بالتحليل المائي للببتيدات إلى مكوناتها من الأحماض الأمينية.

وفي الإنسان، تفرز بعض إنزيمات الهضم في السوائل الهضمية بينما إنزيمات أخرى (مثل أمينو ببتيديز وإنزيمات ثنائيات التسكر) تكون مرتبطة بأغشية الخلايا التي تغطي الحماثل.

وتدخل المنتجات الهضمية خلايا الحماثل بالإنتشار والإنتشار الميسر والنقل النشط. وتلعب الكبد أدواراً عدة في عملية التغذية، فتساعد الصفراء في هضم المواد الدهنية، كما تخزن الكبد أيضاً الزيادة من المواد الكربوهيدراتية (على صورة جليكوجين) حتى يمكنها أن تنقله إلى الدورة الدموية عندما تتطلب الحاجة إليها، وتكسر الأحماض

الأمينية الزائدة منتجة مواداً لاستخدامها في الحصول على الطاقة.

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - وضح الخطوط العامة لهضم سندوتش لحم (بروتين ودهون والنشا).
- ٢ - ارسم المعادلة التركيبية للجزء ٢ - جليسيريد الأحادي لحمض البالميتيك ك<sub>١٥</sub> يد<sub>٣١</sub> ك أ أ يد.
- ٣ - بأي وسيلة يمكن للأحماض الأمينية الموجودة في الأمعاء الدقيقة أن تدخل الخلايا الطلائية للخناقل؟
- ٤ - هل تحدث عملية هضم الجزئيات الكبيرة في القناة الهضمية فقط؟ اشرح.
- ٥ - كيف يمكن للخلايا التي تفرز إنزيمات خارجها أن تتفادي هضم نفسها؟
- ٦ - هل تعيش أي كائنات وتتغذى عن طريق المرشح على اليابسة؟ وضح.

## REFERENCES

## المراجع

1. BAYLISS, W. M. and E. H. STARLING, "The Mechanism of Pancreatic Secretion," Great Experiments in Biology, ed. by M. L. Gabriel and S. Fogel, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1955. Deals with secretion and how it was discovered.
2. DAVENPORT, H. W., "Why the Stomach Does Not Digest Itself", Scientific American, Offprint No. 1240, January, 1972.
3. KRETCHMER, N., "Lactose and Lactase", Scientific American Offprint No. 1259, October, 1972. In many human populations, the adults lack lactase and cannot digest milk.
4. MCMINN, R. M. H., "The Human Gut", Oxford Biology Readers, No. 56, Oxford University Press, Oxford 1974.
5. YOUNG, V. R., and N. S. SCRIMSHAW, "The Physiology of Starvation", Scientific American, Offprint No. 1232, October, 1971.
6. KAPPS, A., and A. P. ALVARES, "How the Liver Metabolizes Foreign Substances", Scientific American, Offprint No. 1322, June, 1975.



## CHAPTER 21

## الباب الحادى والعشرون

### تبادل الغازات فى النباتات والحيوانات

### GAS EXCHANGE IN PLANTS AND ANIMALS

GAS EXCHANGE IN	٢١-١ . تبادل الغازات فى
AQUATIC ORGANISMS	الكائنات البحرية
WATER VIRUSES AIR	٢١-٢ . الماء فى مقابل الهواء
GAS EXCHANGE IN ROOTS AND STEMS	٢١-٣ . تبادل الغازات فى الجذور والسيقان
GAS EXCHANGE IN THE LEAF	٢١-٤ . تبادل الغازات فى الورقة
GAS EXCHANGE IN	تبادل الغازات فى
TERRESTRIAL ANIMALS	الحيوانات الأرضية
TRACHEAL BREATHING	٢١-٥ . التنفس عن طريق القصبات الهوائية
LUNG BREATHERS	٢١-٦ . المتنفسون بالرئات
MECHANISM OF BREATHING IN HUMANS	٢١-٧ . آلية التنفس فى الإنسان
THE PATHWAY OF AIR	٢١-٨ . مسار الهواء
CONTROL OF BREATHING	٢١-٩ . التحكم فى التنفس
AIR POLLUTION AND HEALTH	٢١-١٠ . الصحة وتلوث الهواء
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسابقات
REFERENCES	المراجع



## **الباب العادي والعشرون**

### **تبادل الغازات في النباتات والحيوانات**

---

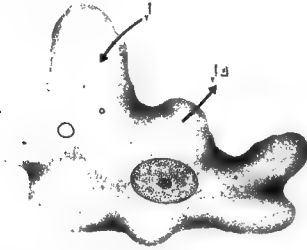
لكي تقوم عملية التنفس، تحتاج الخلايا مددا من الأكسجين ووسيلة للتخلص من ثاني أكسيد الكربون. وللقيام بعملية البناء الضوئي، تحتاج خلايا النباتات الخضراء إلى مدد من ثاني أكسيد الكربون ووسيلة للتخلص من الأكسجين. وعلى ذلك، فجميع الخلايا تقريبا تكون منشغلة في مشكلة تبادل الغازات مع البيئة.

وكما رأينا، فإن بيئة الخلايا هي السائل الذي تعوم فيه تلك الخلايا (ECF) ولكي يمكن للغازات أن تدخل وتخرج من الخلايا، لابد لها من أن تذوب في هذا السائل (ECF).

#### **١-١٢. تبادل الغازات في الكائنات المائية:**

##### **GAS EXCHANGE IN AQUATIC ORGANISMS**

من بين الأحياء الدقيقة المائية الأميبا، والسائل الخلوي البيئي (ECF) هو ببساطة الماء المحيط بها. و النسبة بين مساحة السطح إلى الحجم في الأميبا تكون كافية لدرجة كبيرة لإمكانية حدوث عملية إنتشار بسيط للغازات بين الخلية والماء (الشكل ١-١٢). وعند تنفس الأميبا، فإن استهلاك الأكسجين بواسطة الميتوكوندريا الموجودة بها يقلل من تركيز الأكسجين داخل الخلية. وإذا ماكان تركيز الأكسجين أكبر في الماء الخارجي عنه في داخل الخلية، فإن الأكسجين يمر الى داخل الخلية بالانتشار. وتركيز الأوكسجين في الماء بدوره، يحتفظ بكميته ثابتة في الماء عن طريق عدة طرق: (أ) إنتشار الأكسجين من الهواء إلى الماء، (ب) إنتاج الأوكسجين أثناء عملية البناء الضوئي بواسطة النباتات المائية (الشكل ١-١٢).



شكل ٢١-١: تبادل الغازات في الأميبا. يدخل الأوكسجين ويترك ثاني أكسيد الكربون بالانتشار.

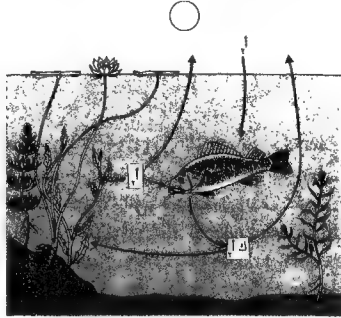
فبينما تستهلك الأميبا الأوكسجين، فهي تنتج ثاني أكسيد الكربون. فإذا ما أصبح تركيز هذا الغاز (ك أ) داخل الخلية أكبر منه في الماء المحيط بها، فإنه أي (ك أ) يمر من الخلية للخارج عن طريق الانتشار. ويحتفظ ثاني أكسيد الكربون بتركيزه في الماء تحت درجة تركيز منخفضة نسبياً بوسيلتين:

- ١ - إستهلاكه بواسطة النباتات المائية بطريقة البناء الضوئي.
- ٢ - إنتشاره في الهواء.

وحتى بين النباتات والحيوانات الأصغر التي تعيش في الماء، فإن نسبة السطح للحجم ربما تكون كبيرة لدرجة كافية لحدوث إنتشار بسيط لسد الحاجة إلى تبادل الغازات. ولربما شكل حيوان البلاتاريا (Planaria) المفلطح والشرطي (شكل ١٢-٣) لأفضل مثل ملائم يسمح للانتشار السريع لتبادل الغازات بين داخل الخلايا والبيئة المحيطة بالحيوان.

وفي الحيوانات المائية الأكبر فإن نسبة السطح للحجم تكون أصغر، فالكثير من خلايا تلك الحيوانات يكون وجودها عميقاً داخل الجسم لدرجة يصعب معها قيامها بتبادل الغازات مع البيئة عن طريق الانتشار وحده، إذ أن الخلية الداخلية النشطة في نفسها لا تستطيع الحصول على الأوكسجين بالسرعة الكافية عن طريق الانتشار من خلية إلى أخرى.

والحل الواسع الانتشار لهذه المشكلة هو إستحمام الخلايا الداخلية في سائل دائم موجود في داخل جسم الكائن، وتستحم كل خلية بهذا السائل، ويفعلها هذا تجلب



شكل ٢١-٢: تبادل الغازات  
في بركة مياه عذبة. يفرز  
الأوكسجين ويستهلك ثاني  
أكسيد الكربون أثناء البناء  
الضوئي يفرز ثاني أكسيد  
الكربون ويستهلك  
الأوكسجين في التنفس  
الخلوي.

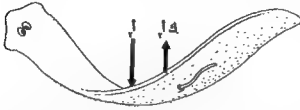
الأوكسجين إليها وتبعد ثاني أكسيد الكربون عنها. ولا بد لها أيضا من الحصول على الأوكسجين الطازج من المياه المحيطة وإفراز ثاني أكسيد الكربون المتجمع في داخل هذه المياة كذلك، ويتطلب هذا وجود عضو خاص لتبادل الغازات. وفي القشريات، والرخويات (القواقع) والأسماك، تكون الخياشيم أعضاء تبادل الغازات. والخياشيم تمثل سطحا كبيرا للماء الذي يغطيها، وتزود الخياشيم بالدم الذي يحمل الأوكسجين منها إلى الأنسجة الداخلية بالجسم. ويلتقط الدم ثاني أكسيد الكربون من الأنسجة الداخلية ويحمله إلى الخياشيم، من الخياشيم يذهب ثاني أكسيد الكربون هذا إلى الماء عن طريق الانتشار. وبذلك توجد ثلاثة أجزاء رئيسية وضرورية للجهاز:

١ - السائل الدوري الذي يحمل الغازات، ويستمر هذا السائل في الدوران بمساعدة ظلمة عضلية هي القلب.

٢ - الخياشيم التي تقوم بعملية تبادل الغازات بين السائل الدوري (البيئة الداخلية) وبين الماء (البيئة الخارجية).

٣ - الوسيلة اللازمة للسحب المستمر للماء الغني بالأوكسجين فوق الخياشيم.

وفي حيوان بلح البحر (Clam) فإن الحركة الذاتية للأهداب التي تغطي الخياشيم تسحب الماء للدخول خلال السيفون الداخل عن طريق الثقوب الموجودة بالخياشيم



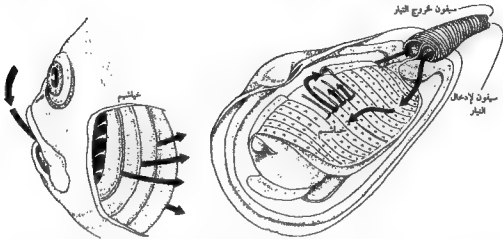
شكل ٢١-٣: كل خلية في جسم حيوان البلاتناريسا قريبة بما فيه الكفاية من السطح لأجل أن تكون احتياجات تبادلها للغازات عن طريق الانتشار.

وللمخارج عن طريق السيوفون الخارج (الشكل ٢١-٤) وفي الأسماك، فإن حركة تناقب (Yawning) الفم (فتحه وقفله) تسحب الماء إلى داخل الفم، ثم بعد ذلك يقفل الفم، وينقبض فراغ الفم الذي يدفع الماء خلال الأقواس الخيشومية التي تدعم الخياشيم الرئيسية، ثم يطرد الماء في النهاية خلال الشقوق الموجودة عند النهاية الخلفية لغرفة الخياشيم (الشكل ٢١-٤).

## ٢١-٢. الماء في مقابل الهواء: WATER VERSUS AIR

تعتبر مشكلة تبادل الغازات في الكائنات الأرضية أبسط مما هي في الكائنات المائية. ويكون الأكسجين نحو ٢١٪ من حجم الهواء. لذلك فإن الكائن الأرضي يحصل من ١٠٠ مليلتر هواء عن طريق تبادل الغازات على ٢١ مليلتر من الأكسجين. ومن جهة أخرى، ففي الماء جيد التهوية، نادراً ما يزيد تركيز الأكسجين عن مليلتر واحد من الغاز في كل ١٠٠ مليلتر من الماء، ونتيجة لذلك فإن الكائن المائي لا بد من تعريض خياشيمه لمساحة كبيرة من الماء الجاري للوفاء باحتياجاته من الأكسجين. ولربما يساعد هذا الفرق في توافر الأكسجين في الهواء والماء في تفسير ظاهرة لماذا نجد أن الحيوانات ذوات الدم الحار فقط هي الحيوانات القادرة على الحفاظ على درجة حرارة ثابتة للجسم باستخدام الحرارة المولدة بالتنفس الخلوي، ومن تلك الحيوانات الطيور والثدييات التي تتنفس الهواء.

ومن جهة أخرى يواجه الكائن الأرضي بمشكلة الحفاظ على رطوبة جهاز تبادل الغازات به، حتى عند تعرضه للهواء الجاف. وكما ناقشنا من قبل، فإن انتشار الغازات إلى داخل الخلايا يحدث فقط من الـ (ECF)، وقد يكون هذا السائل (ECF) مكوناً من فيلم رقيق من الرطوبة، ولكن لا بد من وجوده. والحل الشامل لهذه المشكلة هو في وجود عضو لتبادل الغازات يكون ممتداً بداخل الكائن، وهذه الطريقة فإن الهواء المار في عضو



الشكل ٢١-٤. حيوانان يتنفسان بالخياشيم. تم قطع جزء من السمكة لأظهار الخياشيم. في بلع البحر تم إبعاد الصدفة اليسرى وأجزاء من الخياشيم اليسرى لملاحظة المسار الذي يسلكه الماء.

تبادل الغازات هذا يمكن ترطيبه مسبقا بأغشية مساعدة وتقليل تأثير الجفاف.

### ٢١-٣. تبادل الغازات في الجذور والسيقان:

#### GAS EXCHANGE IN ROOTS AND STEMS

لا تمتلك النباتات جهازا خاصا بتبادل الغازات (فيا عدا حالات خاصة لا يمكن تلافئها!)، وتوجد عدة أسباب تبين إمكانية مغيشة النباتات بدون تلك الأجهزة. أولا، أن كل جزء من النبات يعنى باحتياجاته الشخصية من تبادل الغازات، إذ يوجد القليل جدا من حل الغازات من جزء من النبات إلى جزء آخر، ولو أنه يوجد بالنباتات جهاز حل كفاء للسوائل (والذي سوف نقوم بدراسته في الباب التالي)، إلا أن هذا الجهاز لا يتدخل في عملية نقل الغازات.

وثانيا، لا تحتاج النباتات للكثير من متطلبات تبادل الغازات، فالجذور، والسيقان، والأوراق، تتنفس بمعدلات أقل بكثير عما تتميز به الحيوانات. فقط عند عملية البناء الضوئي يحدث الكثير من تبادل الغازات كما سنرى، إذ أن كل ورقة مهيأة للقيام بعملية تبادل الغازات التي تحتاج إليها أثناء عملية البناء الضوئي.

وثالثا، فإن المسافة التي لابد للغازات أن تنتشر فيها في نبات ولو كان كبيرا جدا وضخما، هي مسافة ليست بالكبيرة. فكل خلية في النبات توجد ملاصقة لسطح

النبات، ويمكن للنبات الحصول على ذلك كما يفعل حيوان البلاتناريا، أي بترتيب خلاياه في طبقات رقيقة تؤدي إلى وجود نسبة مرتفعة من السطح - إلى - الحجم كل ذلك يكون جيدا بالنسبة للأوراق، ولكن ماذا يكون حال السيقان والجذور السمكية؟ في الحقيقة، الحال في تلك الأجهزة لا يختلف كثيرا عنه في حالة الأوراق، إذ أن الخلايا الحية الوحيدة الموجودة في الساق مرتبة على شكل طبقات داخل وتحت القلف مباشرة، أما عن الخلايا الموجودة بداخل الساق الخشبي فهي خلايا ميتة وتعمل فقط كدعامة ميكانيكية.

وأخيرا، فإن أغلب خلايا النبات لها ولو جزء من سطحها ملاصقا للهواء. فالتجمع السائب للخلايا البرنشيمية في الأوراق والسيقان والجذور يمد النبات بجهاز داخلي موصل للفراغات الهوائية، فتنتشر الغازات خلال الهواء عدة آلاف من المرات أسرع مما في الماء، وعلى هذا فمجرد دخول الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون في الممرات الهوائية لتلك الشبكة الداخلية، فإنها تنتشر بداخلها بسرعة (الشكل ٢١-٥).

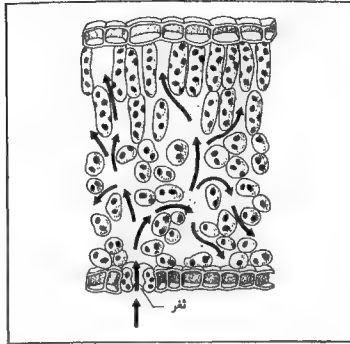
وتغلف السيقان الخشبية والجذور التامة النمو بطبقات من خلايا القليل الميتة والمشبعة بمادة غير نفاذة للماء تسمى سوبرين (Suberin)، ويعمل هذا الغلاف على تقليل فقد الماء من النبات، وهي وظيفة نافعة جدا للنبات، علما بأن القليل غير منفذ للأكسجين وثنائي أكسيد الكربون مثل الماء تماما. وعلى أية حال، فالقليل المغلف للسيقان الخشبية والجذور التامة النمو مثقب بثقوب تسمى عديسات (Lenticels) (الشكل ٢١-٦)، وهي تسهل للأكسجين الوصول إلى المسافات البينية للنسيج الداخلي، وتسمح كذلك لثنائي أكسيد الكربون بالخروج إلى الجو.

وفي كثير من النباتات الحولية، تكون السيقان خضراء اللون وهامة في القيام بعملية البناء الضوئي تماما مثل الأوراق. وفي تلك السيقان، تكون وسيلة تبادل الغازات مشابهة تماما لوسيلة التبادل في الأوراق.

#### ٢١-٤. تبادل الغازات في الورقة: GAS EXCHANGE IN THE LEAF

في الباب الثامن، تمت دراسة كيف أن تركيب الورقة يساعدها على القيام بوظيفتها الأساسية وهي البناء الضوئي. وتحتاج الورقة التي تقوم بالبناء الضوئي بسرعة إلى مدد ثابت ومستمر من ثاني أكسيد الكربون، كما ولا بد لها من إطلاق حجم مماثل من





الشكل ٢١-٥. التجمع المخلخل للخلايا في أغلب الأنسجة النشطة في الأيض بالنبات (هنا ورقة) للسماح بالانتشار السريع للغازات.

الأوكسجين أثناء تلك العملية . ويحدث تبادل الغازات خلال ثغوب في سطح الورقة هي الثغور (Stomata) (مفردها Stoma). وعند نشاط عملية البناء الضوئي عن طريق الورقة، فإن محتويات الهواء من ثاني أكسيد الكربون في الفراغات الهوائية للطبقة الأسفنجية يصبح أقل من ٠,٠٣٪ الموجود في الهواء الخارجي . ونتيجة للفرق في التركيز، ينتشر ثاني أكسيد الكربون من الهواء الجوي الخارجي خلال الثغور إلى الفراغات الهوائية للطبقة الأسفنجية ومنها إلى أعلى خلال الفراغات البينية الموجودة بين خلايا الطبقة العيادية (Palisade) ، وبعد الذويان في فيلم الرطوبة الذي يغطي أسطح كل خلية في داخل الورقة، ينتشر في داخل الخلايا وسيتولازم هذه الخلايا غنى بامدادته من إنزيم كربون هيدريز (Carbon hydrase) والذي ينشط تكوين حمض الكربونيك كما يلي :



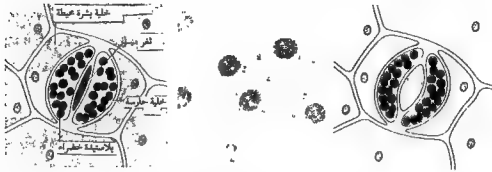
وهذا هو المنبع السريع لثاني أكسيد الكربون لتفاعلات الظلام في البناء الضوئي . وينتشر الأوكسجين الناتج من تفاعلات الضوء من الخلايا إلى المسافات البينية ومنها إلى الخارج عن طريق الثغور.



الشكل ٢١-٦. المديسات الموجودة على قلف ساق صغيرة. هذه المديسات تساعد الأنسجة الحية تحت القلفين في تبادل الأوكسجين وثنائي أكسيد الكربون مع الهواء.

وتحت أغلب الظروف، تفتح الثغور عندما يلمس الضوء سطح الورقة في الصباح وتغفل أثناء الليل. وتم إجراء الكثير من التجارب لاكتشاف كيفية تحكم الضوء بالفعل في فتح الثغور، ولكن حتى الآن لم تفسر طريقة واحدة كل بيانات التجارب. ويبدو أن السبب المباشر هو تغير الأمتلاء (Turgor) في الخلايا الحارسة (Guard Cells). والجدار الداخلي لكل خلية حارسة سميك ومرن، أما عن الجدار الخارجي فهو أرق بكثير. فعند حدوث الأمتلاء داخل الخليتين الحارستين المكونتين للثغر، تنتج الجدر الخارجية الرقيقة للخارج وتدفع الجدر الداخلية لتأخذ شكل الهلال (الشكل ٢١-٧)، وذلك يفتح الثغر. وعند فقد الخلايا الحارسة لأمتلائها، الذي يمكن أن يحدث بالتجربة بغمورها في محلول متعادل مع سيتوبلازمها، تحتفظ الجدر الداخلية المرنة لتلك الخلايا بالشكل الأصلي وتغفل الثغور.

ويعتمد بناء الأمتلاء في الخلية على نشوء فرق في الضغط الأسموزي بين تلك الخلية وبين الوسط المحيط بها. ويوضح الشكل (٢١-٨) الضغط الأسموزي عند فترات مختلفة من اليوم مقاسة داخل الخلايا الحارسة لنبات واحد. فعندما يصبح الضغط الأسموزي داخل الخلايا الحارسة أكبر منه في خلايا البشرة السفلي المحيطة، تفتح



شكل ٧-٢١. الثغور: مقفلة (يسار) ومفتوحة (يمين). تفتح الثغور عندما يزداد الإمتلاء بداخل الخلايا الحارسة. الضوء الساقط على الورقة ينبه التفاعلات المؤدية الى هذا التأثير.

الثغور. وفي المساء، عند هبوط الضغط الأسموزي للخلايا الحارسة إلى الضغط الأسموزي للخلايا المحيطة، تقفل الثغور.

ولكى يزداد الضغط الأسموزي داخل الخلايا الحارسة، لابد من إنخفاض تركيزها المائي إلى ما يعادل ضغط الخلايا المحيطة. وبطريقة أخرى، لابد من تجمع الأملاح (الأيونات، أو الجزيئات الصغيرة) في السيتوبلازم، ويبدو أن هذه هي الحالة. فعند التعرض للمصوء، تتجمع أيونات البوتاسيوم بسرعة داخل الخلايا الحارسة، ولا بد من تدخل آلية النقل النشط لأن تركيز أيونات البوتاسيوم داخل الخلايا الحارسة المفتوحة يفوق بكثيره في الخلايا المحيطة. ولا تعرف بالضبط حتى الآن الميكانيكية الحقيقية التي يحدث بها ذلك، ولو أنه يوجد احتمال واحد هو ضخ (Pumping) البروتونات بالأوسموزية الكيميائية (chemiosmosis) (انظر قسم ٧-١٠) الذي يزود الطاقة اللازمة.

ومن المشاكل الكبرى في تبادل الغازات في الكائنات الأرضية الحفاظ على خلايا أو نسيج تبادل الغازات رطبا لتلافي التأثير المجفف للهواء. والحل الموجود في الورقة الخضراء هو نموذج للحل في كل الكائنات الأرضية الحقيقية. فالخلايا التي لها علاقة بتبادل الغازات تكون مبيتة في فراغ داخل الكائن، ويحضر الهواء إلى الخلايا الرطبة بواسطة فتحات في الجدار الخارجي الغير منفذ للماء والهواء. وخلايا البشرة في الورقة مغطاة بالكيوتين (Cutin)، وتقلل هذه المادة كثيراً من فقد الماء في الورقة، وتمنع كذلك من حدوث أي تبادل ذو قيمة للغازات، فالثغور، على أية حال، تسمح بمرور الغاز المتحكم فيه من وإلى داخل الورقة.

الشكل (٢١-٨): الضغط الأسموزي في خلايا حارسة نموذجية. يبقى الضغط الأسموزي لخلايا البشرة السقلي الأخرى ثابتاً عند ١٥٠ رطل/ البوصة المربعة أثناء اجراء هذه التجربة.

الوقت	الضغط الأسموزي، رطل/ بوصة مربعة
٧ صباحاً	٢١٢
١١ صباحاً	٤٥٦
٥ مساءً	٢٧٢
١٢ منتصف الليل	١٩١

فأي هواء غير مشبع جيداً ببخار الماء (١٠٠٪ رطوبة نسبية) سيعمل على حفاف أسطح الخلايا التي سيلامسها. ولذلك، فالورقة التي تقوم بعملية البناء الضوئي، بالرغم من تحوراتها الدفاعية، ستفقد مع ذلك كميات لا بأس بها من الماء إلى الهواء بالتبخير، ثم يمر هذا الماء المتبخر خارج الورقة (عن طريق الثغور) في عملية يطلق عليها التنتح (transpiration)، ولا بد من تعويض الماء الناتج بنقل المزيد من الماء من التربة إلى الأوراق عن طريق الجذور والسيقان.

وضرورة الحفاظ على خلايا عضو تبادل الغازات مزوداً بالرطوبة باستمرار لا بد وأن يكون لها بعض الفوائد للنبات. فالتنتح (كالعرق) هي عملية تبريد، وكما سنري في الباب الثاني والعشرين، هو الناقل الميكانيكي للعناصر الغذائية الغير عضوية الآتية من الجذور إلى الأوراق.

وعند جفاف الهواء المحيط، قد يزيد معدل التنتح عن مقدرة الجهاز الجذري لإمداد الماء المراد تعويضه، ويمكن تجنب هذا الموقف الحرج بقفل الثغور، فكل ثغر يعمل كجهاز حساس للرطوبة ويقفل عند تعرضه لأي إنخفاض في مستوى الرطوبة بين داخل وخارج الورقة.

### تبادل الغازات في الحيوانات الأرضية

#### GAS EXCHANGE IN TERRESTRIAL ANIMALS

إن حل مشاكل الغازات في معظم الحيوانات الأرضية مع الهواء أمكن علاجها

بطريقة مشابهة لتلك المستخدمة في النباتات الخضراء . فآجهزة تبادل الغازات موجودة داخل فراغ الجسم حيث تكون في حماية من التلف الميكانيكي ، وأهم من ذلك ، من تأثير الزيادة في جفاف الهواء . وغالبا ما يزود جهاز تبادل الغازات بغدد تعوض الماء الذي يفقد عن طريق البحر-

وفي الحشرات وبعض الحيوانات اللائقارية الأرضية ، يحدث تبادل للغازات بين الأنسجة والهواء بواسطة جهاز شبكي من الأنابيب المملوءة بالهواء ، والمسماة بالقصبات الهوائية (Tracheae). وبعض الفقاريات التي تنفس الهواء تستخدم الرئات (Lungs) كأعضاء لتبادل الغازات .

## ٢١-٥ . التنفس بالقصبات الهوائية : TRACHEAL BREATHING

يمثل الجهاز القسبي في النطاط نموذجا للأجهزة القصبية الموجودة في جميع الحشرات (الشكل ٢١-٩) . وتفتح القصبات الهوائية للخارج عن طريق ثقب صغيرة في الهيكل الخارجي تسمى بالثغور التنفسية (Spiracles) ، فيوجد على كل من الحلقة الصدرية الأولى وكذلك على الحلقة الصدرية الثالثة زوجا من الثغور ، ثغر على كل جانب . كما توجد ثمانية أزواج أخرى من الثغور التنفسية مرتبة في خط على كل من جانبي البطن . ويحرس الثغور التنفسية أشواك (شعيرات) تساعد على حجز التراب والمواد الأخرى الغريبة من الهواء قبل دخولها الى القصبات الهوائية . ويحرس الثغور أيضا صمامات تتحكم فيها عضلات خاصة تساعد النطاط على تنظيم فتح وقفل تلك الثغور التنفسية .

وتؤدي الثغور التنفسية إلى أنابيب القصبات الهوائية الرئيسية (Tracheal) ، والتي تؤدي بدورها الى أفرع أدق هي القصبيات الهوائية (Tracheales) ، وتخترق تلك



الشكل ٢١-٩ . يسار : الجهاز القسبي في نطاط . يمين : صورة دقيقة لأنابيب القصبات الهوائية (بتصريح من تيرتس).



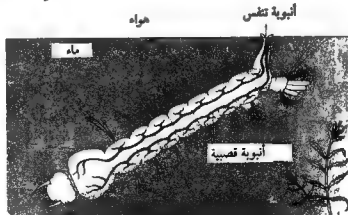
الشكل (٢١-١٠) (أجريت لأول مرة بواسطة عالم فسيولوجيا الحشرات جوتفريد فريנקل Gottfried Fraenkel) يمكن أن يوضح المرء أن هذا العمل منسق بحيث يكون مرور الهواء في إتجاه واحد، فيدخل الهواء خلال أول أربعة أزواج من الثغور الموجودة في البطن. واندفاع الهواء من طريق واحد يزيد من كفاءة تبادل الغازات، فيمكن للهواء الفقير في الأوكسجين أن يطرد بدون أن يختلط مع التيار من الهواء النقي.

وحتى في الحشرات المائية فإنها تمتلك جهازاً قصبياً، فبعضها (مثل يرقات البعوض) تضمن دخول هوائها بامتلاكها لسيفون تنفس تخرجه فوق سطح الماء للحصول على الهواء الجوى مباشرة (الشكل ٢١-١١). وتتصل الأنبوية (الموجودة في السيفون) بالجهاز القصبى لليرقة. ويمكن لحشرات أخرى أن تغطس في الماء لمدة طويلة، ولكن كي تقوم بذلك، فإنها تحمل معها فقاعة من الهواء والتي منها يمكنها الحصول على الأوكسجين. وفي حشرات مائية أخرى توجد ثغور تنفسية محمولة على أطراف زوائد شوكية طويلة، وهذه الأشواك تحرق الحشرة أوراق النباتات الموجودة تحت سطح الماء وتحصل منها على الأوكسجين الموجود على هيئة فقائيع متكونة داخل الأوراق. وحتى في الحشرات المائية التي لها خياشيم فبعد إنتشار الأوكسجين من الماء إلى داخل تلك السموات الخارجية (الخياشيم) يدخل الأوكسجين بعد ذلك إلى القصببات الهوائية المملوءة بالغازات والتي تحمل الأوكسجين بعد ذلك إلى أنسجة الجسم المختلفة.

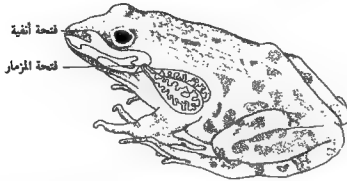
#### LUNG BREATHERS

#### ٢١-٦. المتنفسون بالرئات:

من بين الفقاريات الأرضية (البرمائيات، الزواحف، الطيور، الثدييات) فإن أعضاء تبادل الغازات بها عبارة عن الرئتين. ففي الضفدعة، تكون الرئتان كيسين



الشكل ٢١-١١. يرقة البعوضة تنفس الهواء حتى ولو أنها تعيش وتتغذى تحت الماء.



الشكل ٢١-١٢.  
رئتان الضفدعة تنتفخ  
الرئتان بالتدفع الهواء  
لأسفل خلال فتحة  
المزمار. الجلد وبطانة  
القم تستخدمان أيضا في  
عملية تبادل الغازات.

ورقيقى الجدر موجودين في فراغ الجسم عن طريق فتحة المزمار (Glottis) (الشكل ٢١-١٢). وتزداد المساحة السطحية للرئتين بجهاز عبارة عن حواجز داخلية غنية بالأوردة الدموية. ولكي تنفخ الضفدعة الرئتين للملئها بالهواء فلا بد أولا من ملأ فمها بالهواء بفتح الأنف وخفض قاعدة أو أرضية القم ثم تقفل الضفدعة الفتحات الداخلية لفتحتى الأنف، ويفتح فتحة المزمار، وترفع أرضية القم. كل تلك الأفعال تدفع الهواء من القم إلى الرئتين، فتتضخان وفي الحقيقة، يمكن للضفدعة أن تدفع الكثير من الهواء إلى داخل رئتيها إلى درجة أن تتمدد الرئتان وتملآن جميع فراغ الجسم.

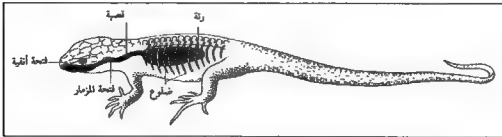
ويذوب الأوكسجين الموجود في هذا الهواء في فيلم من الرطوبة موجود على سطح الخلايا الطلائية للرئتين، ثم ينتشر الأوكسجين بعد ذلك من الخلايا الطلائية إلى الشعيرات الدموية الدقيقة. وبمجرد دخول الأوكسجين في الدم، فإن معظمه يدخل في كرات الدم الحمراء البيضاوية الشكل التي تعوم في الدم وتحتوي على الحبيبات الحمراء المسماة هيموجلوبين (Hemoglobin) وتحت الظروف الموجودة في الرئتين، يختلط الهيموجلوبين كيميائيا مع الأوكسجين ثم يتوزع الأوكسجين بعد ذلك في جسم الضفدعة في الدورة الدموية. وعند وصول الدم إلى الأجهزة الداخلية والأنسجة المختلفة، يترك الهيموجلوبين الأوكسجين الموجود به، ويصبح الأوكسجين حرا ليترك الدم ويدخل خلايا الجسم لأمدادها باحتياجاتها من التنفس، يدخل ثاني أكسيد الكربون الناتج عن عملية تنفس الخلايا الدم عند الأنسجة ثم يحمل إلى الرئتين ثم إلى الجلد ليخرج إلى الهواء الجوى.

ويعمل الجلد (Skin) كعضو مساعد في تبادل الغازات في معظم البرمائيات، وهو غني بالأوعية الدموية منفذ للماء والغازات، يمكنه، على أية حال، العمل على تبادل



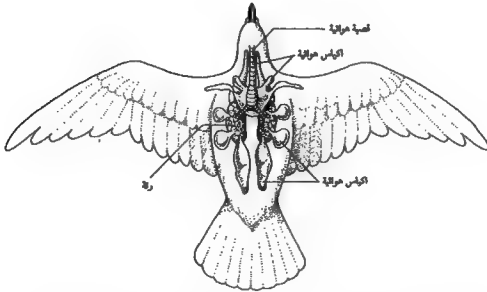
الغازات ولكن فقط عندما يكون رطباً. وتساعد خلايا مفرزة للمخاط موجودة بالجلد على أداء هذه الوظيفة، ولكنها لا يمكنها التعامل مع الجفاف أو مع الهواء الساخن. لذلك، فإن معظم البرمائيات تعيش دائماً في أماكن رطبة مثل المستنقعات، والبرك، والأرض الرطبة، وغيرها، وهذا هو أحد الأسباب الذي يجعلنا نعتبر أن البرمائيات ليست حيوانات أرضية حقيقية.

وتمتلك الزواحف (Reptiles) جلداً جافاً حشيفاً غير منفذ للماء، لذلك فالقليل من الرطوبة تفقد من الحيوان عن طريق الجلد. لذلك لا توجد الزواحف في الأماكن الرطبة فقط، ولو أن الكثير منها يفعل ذلك أي يعيش في الواقع في تلك الأماكن. فالسلاحف والثعابين تكثر في الصحارى. وهي أجف البيئات. وبينما نجد أن الجلد الحشيف يسمح بالمعيشة في أماكن ذات هواء جاف، وهو بلا أدنى شك ليس مكاناً لتبادل الغازات، لذلك تعتمد الزواحف على الرئات لتلك الوظيفة. وليست فقط للرئات في الزواحف مساحة سطحية أكبر بكثير عما في البرمائيات، ولكن التهوية في الرئات أكثر كفاءة. فالرئات تحاط بقفص من الضلوع العظمية (الشكل ٢١-٢٣) والتي أي الضلوع قد تكون منفصلة بالتبادل عن بعضها البعض ثم تتجمع ثانية مع بعضها بواسطة مجاميع متعارضة من عضلات الضلوع. فعند إبتعاد تلك الضلوع عن بعضها البعض، يزداد حجم قفص الضلوع، ويخلق هذا الامتداد فراغاً داخل الرئات التي يدخلها الهواء النقي. ويحمل هذا الهواء النقي، بالطبع إمدادات جديدة من الأوكسجين إلى الأنسجة الرطبة للرئات ويدفع إنقباض قفص الضلوع الهواء إلى خارج الرئات، وهذا الهواء الخارج خال من الأوكسجين ولكنه غني بثاني أكسيد الكربون الناتج من الرئات.

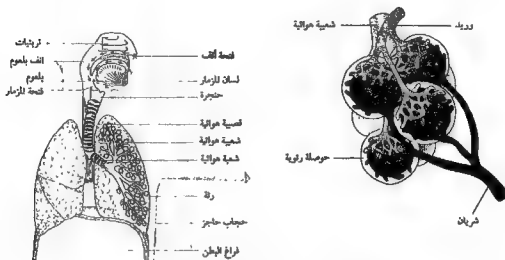


الشكل ٢١-١٣. رئات السحلية. تتنفس بتمدد قفص الضلوع.

ولو أن التهوية في رئات الطيور تتشابه في أساسياتها مع تهوية رئات الزواحف إلا أنها تزداد كثيرا أثناء الطيران بسبب ضرب الأجنحة. وبخلاف الزواحف، فالطيور من الحيوانات ذوات الدم الحار، فتحتفظ أجسامها بدرجة حرارة ثابتة (غالبا حول ٤٠ م) بالرغم من الاختلافات الكبيرة في درجات حرارة البيئات الخارجية، وتحفظ الطيور بحرارتها ثابتة عن طريق الحرارة الناتجة عن النشاط العضلي، ويعتمد النشاط العضلي بدوره على الطاقة الناتجة من التنفس الخلوي. وليس غريبا إذن، أن المتطلبات من الأوكسجين لطير صغير نشط تكون كبيرة جدا. فالنموات الخارجية للرئات (الأكياس الهوائية Air Sacs) (الشكل ٢١-١٤) تساعد الطيور في كفايتها من متطلباتها الزائدة هذه. ولو أنه لا يحدث تبادل غازات في تلك الأكياس، إلا أن ترتيبها التشريحي يزيد من كفاءة تهوية الرئات بامرارها الهواء الطازج إلى الرئات أثناء عملية الشهيق والزفير. وتساعد الأكياس الهوائية كذلك في تقليل كثافة جسم الطائر بتوفير الهواء للأنسجة أو السائل في أماكن كثيرة. وعلى سبيل المثال، فإن بعض عظام الطيور تكون مجوفة وتحترقها أكياس هوائية.



الشكل ٢١-١٤. الأكياس الهوائية في الحمامة. ولو أنه لا يحدث تبادل غازات في الأكياس الهوائية، فهي مرتبة بحيث يمر الهواء النقي الجديد خلال الرئات أثناء الشهيق وكذلك أثناء الزفير.



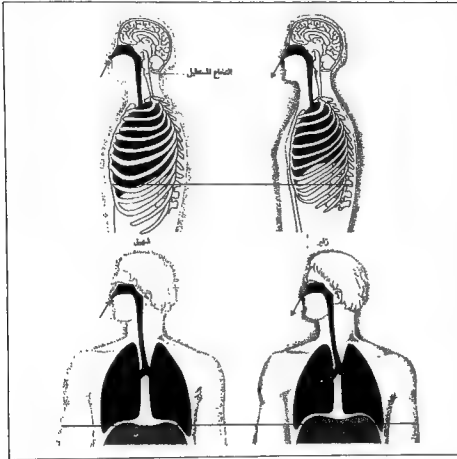
الشكل ٢١-١٥ . جهاز تبادل الغازات في الإنسان . انتقال الأوكسجين وثنائي أكسيد الكربون بين الهواء والدلم يحدث في فراغات الحويصلات الرئوية .

## ٢١-٧ . ميكانيكية التنفس في الانسان :

### MECHANISMS OF BREATHING IN HUMANS

من بين الثدييات، تتحسن كفاءة الرئتين في التهوية بوجود الحجاب الحاجز (Diaphragm) وهو فاصل كالقبة في شكلة، وعضلي، ويقسم فراغ الجسم إلى جزئين: الفراغ البطنى (والذي يحتوي على الأحشاء - المعدة، والأمعاء، وغيرها) والفراغ الصدري (الذي يحتوي على القلب والرئتين - الشكل ٢١-١٥). والسطح الداخلي للفراغ الصدري والسطح الخارجي للرئتين يغلفان بأغشية رقيقة هي الأغشية البللورية، وبمساعدة فيلم من الرطوبة موجود بينهما، فان بلورا الرئة تلتصق بالفراغ البللوري .

وتبين ضرورة الالتصاق بين الرئتين وبين جدر الفراغ الصدري عندما يدخل الهواء بين الأغشية البللورية، فتتكسر قوة الالتصاق وتسبب المرونة الطبيعية للرئتين في تدهورها . وتحدث هذه العملية تلقائيا عند تلف الرئتين بمرض مثل السل، فتدهور الرئتين يسمح لها بالراحة وبذلك يندملان بسرعة . وانتفاخ الرئتين ثانية ليست مشكلة إذ أن الهواء الموجود بين الأغشية البللورية يمتص في الأنسجة تدريجيا وترجع الرئتان الى حجمها الطبيعي مرة أخرى .



الشكل ٢١-١٦. أثناء التنفس (الشهيق)، ترتفع الضلوع لأعلى وللخارج وينخفض الحجاب الحاجز. معدل وعمق التنفس تتحكم فيه النبضات العصبية الناشئة في النخاع المستطيل.

وأي عمل يزيد من حجم الفراغ الصدري يزيد من حجم الرئتين بسبب التصاقهما لجدر الفراغ، ويحدث تمدد القفص الضلعي ذلك كما يحدث في الزواحف والطيور، ولكن في الثدييات (ومنهم الإنسان) تزداد تلك العملية اسراعاً بانقباض الحجاب الحاجز. فيخفض الانقباض الحجاب الحاجز، ويسبب ذلك زيادة في حجم الفراغ الصدري، هذا بدوره يجعل الرئتين تتمددان، ويندفع الهواء إلى داخلهما وعند راحة الحجاب الحاجز يرجع إلى وضعه الطبيعي السابق، ويسمح للرئتين بالعودة إلى حجمها السابق، وهذا يطرد الهواء منهما إلى الخارج.

وحركة الحجاب الحاجز أثناء التنفس تشارك، ولكنها لا تكون عوضاً عن، فعل القفص الضلعي. فحركة الضلوع تتحكم فيها العضلات الوربية (Intercostal)

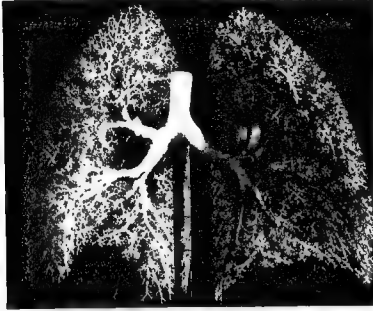
الداخلية والخارجية. وأثناء الشهيق، تنقبض العضلات الوربية الخارجية، رافعة الضلوع الى أعلى وللخارج (الشكل ٢١-١٦)، وتزيد هذه الحركة من حجم الفراغ الصدري، وبذلك تسحب الهواء الى الرئتين. وأثناء الزفير، تنكمش العضلات الوربية الخارجية وهذا، بمساعدة المرونة الطبيعية للرئتين، يرجع الفراغ الصدري الى أبعاده الطبيعية. وتكرر دورة الشهيق والزفير نحو ١٥-١٨ مرة كل دقيقة في الإنسان البالغ المستريح، ويتم سحب واستنشاق ٥٠٠ مليلتر من الهواء في كل دورة.

ويمكن، بطبيعة الحال، التنفس أكثر عمقا، إما إراديا أو نتيجة تدريبات. ويحدث الشهيق ببساطة بقوة نتيجة الانقباض الشديد للحجاب الحاجز والعضلات الوربية الخارجية. ويعتمد الشهيق الشديد، على أية حال، على أكثر من الالتفاف المرن لتلك العضلات والرئتين. والعضلات الوربية الداخلية تجذب الضلوع لأسفل وللداخل، بذلك تقلل أكثر من حجم الفراغ الصدري، وفي نفس الوقت ينقبض الجدار العضلي للبطن، دافعا المعدة، والكبد، وغيرهما بقوة لأعلى ضد الحجاب الحاجز ومقللا من حجم الفراغ الصدري من هذا الاتجاه. ومع الشهيق والزفير الشديدين، يمكن للإنسان البالغ في المتوسط أن يملأ رئتيه بنحو أربعة لترات من الهواء في كل تنفس. ويعرف هذا بالقدرة الحيوية (Vital Capacity) للرئتين، وحتى عند نقطة أقصى زفير، يبقى في الرئتين نحو ١٢٠٠ مليلتر من الهواء (متبقيات الهواء).

## THE PATHWAY OF AIR

## ٢١-٨. مسار الهواء

تعتمد تهوية الرئتين، بطبيعة الحال، أيضا على وجود ممر سليم بينها وبين الهواء الخارجي. فأثناء الشهيق يدخل الهواء من الفتحات الأنفية Nostrils، ويمر خلال الفراغات الأنفية (Nasal Cavities) (فراغ واحد خلف كل فتحة أنفية) ثم إلى الأنف بلعوم (Nasopharynx) (يختلطا مع أي هواء يؤخذ عن طريق الفم) ثم البلعوم القمي (الشكل ٢١-١٥) ومن البلعوم القمي، يمر الهواء من فتحة المزمار الى القصبة الهوائية (Trachea) وتتقوى جدر القصبة الهوائية بأشرطة من الغضاريف على هيئة حدوة الحصان، وتمنع هذه الأشرطة القصبة الهوائية من الانقباض تحت ضغط الأنسجة المحيطة. وتتفرع القصبة الهوائية الى شعبة (Bronchus) اليمنى وأخرى يسرى، مؤدية الى الرئة اليمنى والرئة اليسرى على التوالي. وتتفرع كل شعبة بدورها عدة

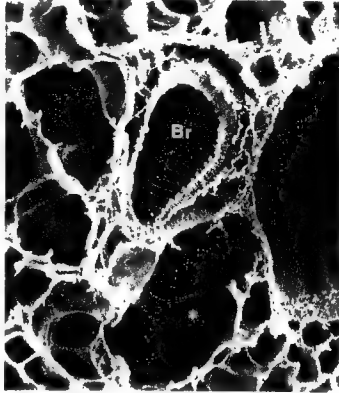


الشكل ٢١-١٧.  
قالب لرئتي الإنسان.  
لاحظ نظام الضرع في  
الجهاز القسبي  
(بتصريح من معهد  
التشريح، بون).

مرات (نحو ٢٢ مرة في المتوسط) إلى شعبيات صغيرة جدا (Bronchioles) (الشكل ٢١-١٧)، وتقوى جذر تلك الشعب والأفرع الرئيسية للشعبيات بالغضاريف أيضا. وتفتح كل شعبيية في مجموعة من الأكياس الصغيرة تشبه عنقود العنب تسمى حويصلات (Alveoli) (الشكل ٢١-١٨)، وهنا فقط في الحويصلات يحدث تبادل الغازات. ويوجد نحو ٣٠٠ مليون حويصلة في رئتي الإنسان البالغ وهي تكون السطح الكلي اللازم لتبادل الغازات والذي يقدر بنحو ١٦٠ م<sup>٢</sup>. وبمقارنة هذه القيمة الهائلة (والتي تعادل تقريبا مساحة ملعب تنس) إلى السطح الكلي للجلد في إنسان يبلغ في الوزن ١٥٠ رطل والذي يقدر بنحو ٢ متر مربع.

والمساحة السطحية التي تهيئها الحويصلات كافية لسد احتياجات الجسم من تبادل الغازات أثناء الراحة والنشاط. وتحت ظروف خاصة، على أية حال، يمكن إقلال مساحة تبادل الغازات في الرئتين بشدة. وعلى سبيل المثال، ينتج عن إصابة الحويصلات (Alveoli) بالفيروس أو البكتيريا بالنيومونيا (Pneumonia) وفي النيومونيا يتجمع الليمف والمخاط في الحويصلات والشعبيات الهوائية ونتيجة لذلك تقلل المساحة المعرضة للهواء. وفي الحالات الشديدة، قد يتحول المريض إلى اللون الأزرق نتيجة نقص الأوكسجين، تنفس الأوكسجين النقي تحت خيمة خاصة قد ينقذ حياة المريض. والتركيز المتزايد للأوكسجين نتيجة إستنشاقه يتسبب في جعل المساحة الخاصة بتبادل

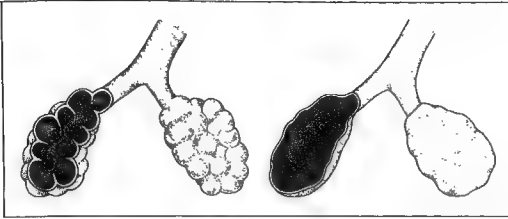
الشكل ٢١-١٨. السطح المقطوع في جزء من رئة فأر كما ترى تحت الميكروسكوب الإلكتروني (المساح). العلامة تدل على مجموعة من الحويصلات. الجدار المصلب من برونيكدي رئوي يمكن مشاهدته أيضا (Br) (أعيد إنتاجها بتصريح من كيث، بووتر، ري أ. توفيل، مقدمة للتركيب الدقيق للخلايا والأنسجة، الطبعة السابعة، لي، فيبهر، فيلاديليا، ١٩٧٣).



الغازات مهياة جيدا لذلك .

وهناك مرض آخر في الرئتين يقلل من مساحة تبادل الغازات، وهذا المرض هو الأمفيزيا (Emphysema)، وفي هذا المرض تلتهب وتتكسر كثير من الجدران التي تفصل الحويصلات، ويقلل هذا كثيرا من المساحة اللازمة لتبادل الغازات (الشكل ٢١-١٩) ويعكس النيمونيا، تنشأ حالة الأمفيزيا ببطء جدا ونادرا ما تكون عاملا مباشرا للموت. وعلى أية حال، فالفقد التدريجي لمساحة تبادل الغازات تدفع القلب لضخ كميات اكبر من الدم الى الرئتين للوفاء بحاجة الجسم من تبادل الغازات، وقد يؤدي هذا الجهد الإضافي في أغلب الحالات الى هبوط في القلب.

وتغطي الجدر الداخلية للقصبة الهوائية وفرعها، وهما الشعبتان الهوائيتان، والفروع الأصغر أي الشعبات الهوائية جميعها بخلايا طلائية لها أهداب وتفرز المخاط فذرات التراب التي لا ترشح في الخارج عن طريق الأنف يمكن اصطيادها بالمخاط ثم تكبس الأهداب هذه المواد الترابية لأعلى وتطردها الى القصبة الهوائية. وعند قربها من فتحة المزمار، يحدث العطس وتندفع الذرات الترابية الى الفم. أما عن الذرات الصغيرة جدا



الشكل ٢١-١٩. تركيب الحويصلة في رئة طبيعية (يسار) ورئة لضحية إلفيزيا (يمين). تكسر جدر الحويصلات يقلل المنطقة السطحية لتبادل الغازات.

و التي تصل الى الحويصلات فيمكن احاطتها وابتلاعها بواسطة الخلايا الأكولة (Phagocytes) الموجودة في جدر الحويصلات. وبعد المعيشة لمدة طويلة في مدينة، (أو تدخين السجائر) فان تجمع مثل تلك المواد يجعل الرئتين غامقتين جدا في مظهرهما.

ولقد أجريت في المدارس العليا والكليات دراسات أثبتت أن قدرة الرئتين على التهوية قلت في الطلبة المدخنين، ويكون مسلك الرئة وكأن الفريعات الدقيقة أي الشعيرات الهوائية مسدودة جزئياً. ويحدث هذا اذا ما وجد انتاج اكبر من المخاط في الرئتين (ويخرج من رئتي مدخن السجائر بلغم اكثر - وهي حالة معروفة باسم الالتهاب الشعبي الحاد (Chronic bronchitis)، أو إذا ضعف معدل إبعاد المخاط بواسطة الخلايا الهدية. وأمكن تحديد ذلك بجعل بعض الأفراد تستنشق ايروسولا محتوية على ذرات دقيقة مشعة، ثم تتبع معدل طرد هذه الذرات من الرئتين بعدد جيجر كبير، فوجد أن المقاييس في الأشخاص المدخنين حديثا قد انخفضت، ولو أنه لم يلاحظ إنخفاض على مدى بعيد.

ولحة سريعة الى الجدول الموضح في الشكل (٢١-٢٠) تبين ما يحدث في حالة نموذجية لتركيبة الهواء عند وصوله الى الحويصلات، فيذوب بعض الأوكسجين في السائل المرطب للخلايا الطلائية الرقيقة المبطنه للحويصلات ومن هنا ينتشر الأوكسجين في الدم الموجود في الشعيرات الكثيرة الموجود في جدر الحويصلات. وكما في الضفدعة، يتحد أغلب الأوكسجين مع الهيموجلوبين الموجود في كرات الدم الحمراء.



وبالتوالي، ينتشر بعض من ثاني أكسيد الكربون في الدم الى الخارج في الحويصلات، ومنها يمكنه الخروج عن طريق الزفير. وتحمل الدورة الدموية بعد ذلك الأوكسجين لجميع خلايا الجسم، ويحدث ذلك، يحمل الدم ثاني أكسيد الكربون من تلك الخلايا لأرجاعه ثانية الى الشعيرات الدموية في الحويصلات. وستتم دراسة التفاصيل الأخرى الخاصة بالميكانيكية الكيميائية التي بها يحمل الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون بكفاءة بالدم في الباب الثالث والعشرين.

الشكل (٢١-٢٠): تركيب الهواء الجوي والهواء الخارج من عملية التنفس في انسان نموذجي. لاحظ أن جزءا بسيطا جدا من الأوكسجين المستنشق استهلكه الجسم.

المكونات	الهواء الجوي	الهواء الخارج من عملية التنفس
ن <sub>٢</sub> (+ الغازات الساكنة)	٧٨,٦٢	٧٤,٩
أ <sub>٢</sub>	٢٠,٨٥	١٥,٣
ك <sub>٢</sub> أ <sub>٢</sub>	٠,٠٣	٣,٦
يد <sub>٢</sub> أ <sub>٢</sub>	٠,٥	٦,٢
	١٠٠	١٠٠

ويمكن تفهم السهولة التي يمكن للأوكسجين وثاني أكسيد الكربون أن يمر بها بين هواء الحويصلات وخلايا كرات الدم الحمراء في الشعيرات الدموية عند اختبار الشكل (٢١-٢١). فيمكن رؤية أجزاء من حويصلتين من أعلى، واحدة الى اليسار والأخرى الى اليمين، وكل جزء مبطن بخلايا طلائية طويلة رقيقة، والفواصل بين الحويصلتين مشغول كلية بشعيرة لاحظ، كذلك، كيف أن الخلية رقيقة وتكون جدار الشعيرة - فيباعد مكان وجود النواه. والجزء الرمادي الداكن داخل الشعيرة هو كرة دم حمراء. وعند أقرب نقطة، يبعد سطحها فقط ٧,٠ ميكرون عن الهواء في الحويصلة، وهو أقل من عشر قطر هذه الخلية الدقيقة.



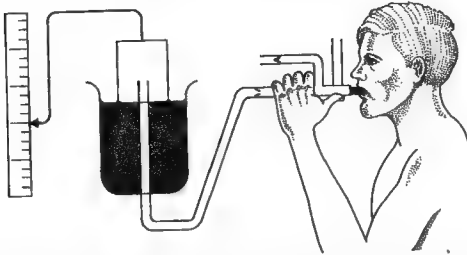
الشكل ٢١-٢١ .  
الحويصلات وشعيرة دموية  
مجاورة من رئة فأر معمل  
(x-٥٠٠, ١٠) . لاحظ  
رقة الخلايا الطلائية (Ep)  
التي تبطن الحويصلات  
والشعيرات (ليما عدا  
حيث توجد السنواه N)  
الشيء الرمادي الغامق غلبة  
دموية حمراء (أعيد إنتاجها  
بتصريح من كيث ر. بورتر،  
ماري أ. يونيفيل، مقدمة

للتركيب الدقيق للخلايا والأنسجة، الطبعة الرابعة، لي وفييجر، فيلادلفيا (١٩٧٣).

## ٢١-٩. التحكم في التنفس CONTROL OF BREATHING

يختلف المعدل الذي يحدث عنده التنفس (ومعنى ذلك استهلاك الأوكسجين) تبعاً لحالة نشاط الجسم، فالتدريبات القاسية قد تزيد بمقدار ٢٠-٢٥ مرة متطلبات الأنسجة للأوكسجين، ويقابل هذه الزيادة في المتطلبات زيادة في معدل وعمق التنفس.

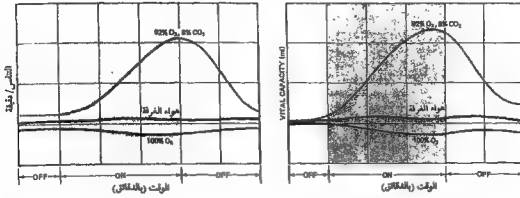
ويكون من المعقول أن نفترض أن نقص الكفاية من الأوكسجين تشعل هذه الإستجابة. ومن السهل أن نبرهن، على أية حال، أن الحرمان من الأوكسجين يلعب دوراً صغيراً جداً في تنظيم المعدل الذي تحدث عنده تهوية الرئتين. ويوضح الشكل (٢١-٢٢) تجربة يظهر فيها أنسان يمكنه استنشاق غازات مختلفة ممزوجة فينبها يستنشق هذا الفرد مزيج الغازات، يمكن تسجيل معدل وعمق التنفس بدقة. ويبدأ الفرد التجربة بتنفس هواء نقي (٢١٪ أوكسجين و ٠٣ ٪ ثاني أكسيد الكربون، نجو ٧٩٪ غازات خاملة بالحجم)، أولاً من الحجرة ثم بعد ذلك من الوعاء (Tank). فقد تغير العصبية، والطعم الغير مستساغ المضاف للهواء بواسطة الجهاز، وزيادة مقاومة الهواء في استجابات الفرد، يمكن أخذ هذه التغيرات في الحسبان عند تفسير نتائج مزج الغازات المختلفة.



الشكل ٢١-٢٢. جهاز لتحديد تأثيرات مزيج الغازات المختلفة على معدل وعمق التنفس. تستنشق مزيج الغازات من الخزان وتخرج إلى الحجرة. حجم الغاز المستنشق يقاس بالمقياس الموجود على اليسار.

والرسمان البيانيان الموضحان في الشكل (٢١-٢٣) يوضحان عدم حدوث أية تغيرات محسوسة في تلك التجربة بالذات، فعند تعويض الهواء بمقدار ١٠٠٪ أوكسجين، لم يحدث أي تغيير محسوس في معدل أو عمق التنفس، ولو أنه يوجد ميل لعمق التنفس في أن يقل بمقدار طفيف. وعند استنشاق الفرد لمزيج من الغازات يتكون من ٩٢٪ أوكسجين، ٨٪ ثاني أكسيد الكربون، فعل أية حال، يزداد بشدة معدل وعمق حدوث التنفس. لاحظ هنا عدم وجود أنسجة تعاني من نقص الأوكسجين. ويستنشق الفرد مزيجاً من الغازات يحتوي على أربعة أمثال من الأوكسجين أكثر من الهواء. وتقرّر التجربة أن تركيز ثاني أكسيد الكربون يلعب دوراً محدداً في التحكم في معدل وعمق التنفس.

وأوضحت تجارب فسيولوجية أخرى أن ثاني أكسيد الكربون يحصل على هذا التأثير عن طريق عمله على جزء من المخ هو النخاع المستطيل (الشكل ٢١-١٦)، إذ عندما يمر الدم في الحويصلة، يصبح محتواها من ثاني أكسيد الكربون هو نفس تركيزه في هواء الحويصلة. وبعد دقائق، يصل الدم إلى النخاع المستطيل والذي يحتوي على خلايا حساسة جداً لتركيز ثاني أكسيد الكربون في الدم. فإذا ما ارتفعت محتويات ثاني أكسيد الكربون عن الحدود الطبيعية يستجيب النخاع المستطيل لزيادة عدد ومعدل



الشكل ٢١-٢٣. رسمان بيانيان يوضحان تأثير استنشاق هواء الغرفة، ١٠٠٪ أوكسجين، مزيج من ٩٢٪ أوكسجين، ٨٪ ثاني أكسيد الكربون على معدل التنفس (يسار) وعمق التنفس (يمين). ولأن تركيز الأوكسجين في مزيج ٩٢-٨ يزيد عن أربعة مرات تركيزه في هواء الغرفة، إلا أن وجود ثاني أكسيد الكربون يبدأ الزيادة الكبيرة في معدل وعمق التنفس.

النبضات العصبية التي تتحكم في عمل عضلات بين الضلوع (Intercostal) وكذلك الحجاب الحاجز. والنتيجة هي زيادة في تهوية الرئتين والتلين يتسببان بسرعة في رجوع تركيز ثاني أكسيد الكربون في هواء الحويصلات، ثم في الدم بعد ذلك، الى المستويات الطبيعية.

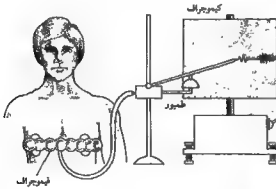
ويوجد تحكم موضعي كذلك لتهوية الرئتين، فالجلدر العضلية للمساء للشعبات الهوائية حساسة جدا لتركيز ثاني أكسيد الكربون. ويسبب ارتفاع مستوي ثاني أكسيد الكربون إتساع الشعبات الهوائية. وهذا يقلل المقاومة في الممرات الهوائية وبذلك يجعل من الممكن الحصول على اوكسجين اكثر في نفس الوقت الذي تخرج فيه للخارج الكميات الزائدة من ثاني أكسيد الكربون.

وكلنا يعلم أيضا أن معدل وعمق التنفس يوجدان أيضا تحت التحكم الواعي (Conscious) ولكن هذا التحكم الواعي له حدود معينة، اذ يمكنك أن توقف تنفسك ولكن لمدة محدودة من الزمن، وبالتالي، فإن محتويات الدم من ثاني أكسيد الكربون التي تصل الى النخاع المستطيل تصبح عالية لدرجة أن هذا النخاع المستطيل يعبر (Overrides) التحكم الواعي، وهذه هي نقطة الانكسار (Breaking Point).

ويوضح الشكل (٢١ - ٢٤) تجربة أجريت لدراسة هذا النوع من الاستجابة فحركة صدر الفرد يمكن اكتشافها بانتفاخات (Bellows) مجوفة (النيوموجراف

(Pneumograph) مريضة حول الصدر. فتمدد وانبساط الأنفخات المذكورة تسببان انخفاض وزيادة ضغط الهواء الداخلي. ويمكن نقل هذه التغيرات في الضغط الى قلم التسجيل الذي يكتب على اسطوانة مدخنة تدور ببطء (والمسماه كيموجراف - Kymograph) لاحظ أنه بعد مدة من ايقاف التنفس يصبح معدل وعمق التنفس اكبر بكثير عما قبل الفترة التي ابتداء فيها التنفس عن التوقف. ويمكن تفسير ذلك بزيادة كمية ثاني أكسيد الكربون أثناء فترة ايقاف التنفس. ويمكن زيادة طول الفترة التي يمكن للرجل أو المرأة أن يوقف تنفسه الى نقطة الانكسار بالتنفس أسرع و أعمق وذلك قبل وقت ايقاف التنفس. فالتهوية الشديدة القوية تقلل من محتويات ثاني أكسيد الكربون في هواء الحويصلات والدم الى ما دون قيمته العادية ، ويستلزم ذلك وقتا اكبر لمحتويات ثاني أكسيد الكربون كي تزيد ثانية لتصل الى نقطة الانكسار. فاذا ما تنفس الفرد ببساطة طبيعيا بعد فترة من التنفس الشديد الزائد (التهوية الزائدة - Hyper-ventilation) فاننا نجد أن أن عمق التنفس يصبح بوضوح أقل منه في الفترة التي سبقت التهوية الزائدة.

ويعتبر النخاع المستطيل، عندئذ، ميكانيكية فعالة في التحكم في محتويات الدم من ثاني أكسيد الكربون. فأي زيادة في ثاني أكسيد الكربون سرعان ما تقل بسرعة وذلك بزيادة تهوية الرئتين، فالنخاع المستطيل عندئذ هو أحد أجهزة الهوميوستاتيكية الهامة في الجسم فمن خلال نشاطه تبقى محتويات الدم من ثاني اكسيد الكربون في معدلاتها في



الشكل ٢١-٢٤. تشغيل الكيموجراف. حركات تنفس الفرد تنقل الى المؤشر وتسجل على اسطوانة دائرية (الكيموجراف). سجلات الكيموجراف توضح التأثير على معدل وعمق التنفس في (١) امسك التنفس، (٢) زيادة التهوية (٣) زيادة التهوية التي يتبعها امسك التنفس. والنتائج في كل حالة تعكس تركيز ثاني أكسيد الكربون في الدم عند نهاية كل نشاط.

حدود ضيقة جدا وكتيجة لذلك، فإن استمرارية البيئة الداخلية بالنسبة الى محتوياتها من ثاني اكسيد الكربون يتم الحفاظ عليها في معدلاتها الثابتة.

ويبدو غريبا أن المعدل الذي يتنفس عليه المرء، ويمد بذلك الجسم بالأكسجين، يتحكم فيه محتويات الدم من ثاني أكسيد الكربون بدلا من محتويات الدم من الأوكسجين. ولعلك تذكر أن تكسر الجلوكوز بالتنفس الخلوي ينتج عنه ثاني أكسيد الكربون بنفس السرعة التي يستنفذ بها الأوكسجين. وتحتاج عضلات الجسم إلى كميات زائدة من الأوكسجين أثناء التدريب الشاق، ولكنها أي العضلات تنتج كميات زائدة من ثاني أكسيد الكربون في نفس الوقت، وهذا يعطي الشرارة للتهوية الزائدة للرئتين وبالتالي إمداد كميات أكبر من الأوكسجين الذي يحتاج اليه الجسم أوتوماتيكيا.

وهناك موقف واحد نجد فيه أنفسنا نعاني من نقص في الأوكسجين بدون زيادة مقابلة في انتاج ثاني أكسيد الكربون. فعندما نطير (في طائرة غير مكيف ضغط الهواء بها) الى ارتفاع أعلى من ١٣,٠٠٠ قدم، نبدأ في المعاناة بسبب نقص الأوكسجين. وبانخفاض كميات الأوكسجين اللازمة للتنفس الخلوي يوجد على أية حال، نقص مماثل في كمية ثاني أكسيد الكربون. ونتيجة لذلك لا يحدث تنبيه للنخاع الشوكي كي يرفع من معدل تهوية الرئتين. ولحسن الحظ، لا يمتلك الجسم الميكانيكية التي يمكن بها موازنة مثل هذه الحالة. وتوجد مستقبلات في الاورطة والشرابين السباتية (Carotid arteries) تكتشف المستويات المنخفضة من الأوكسجين في الدم، وترسل تلك المستقبلات النبضات للنخاع المستطيل وتنبيهه كي يزيد من معدل تهوية الرئتين. ولو أن هذه الزيادة في معدل وعمق التنفس ليست كبيرة كتلك التي تسببها الزيادة في ثاني أكسيد الكربون، إلا إنها تسبب في زيادة كميات الأوكسجين الواردة إلى الحويصلات.

## ٢١-١٠. الصحة وتلوث الهواء AIR POLLUTION AND HEALTH

يمدنا سطح الحويصلات باتصال داخلي كبير وقوي بين البيئة الداخلية والهواء، وفي مدة أربعة وعشرين ساعة، نتنفس ١٥,٠٠٠ لترا من الهواء، أصبح نقاء هذا الهواء من الأهمية بمكان.

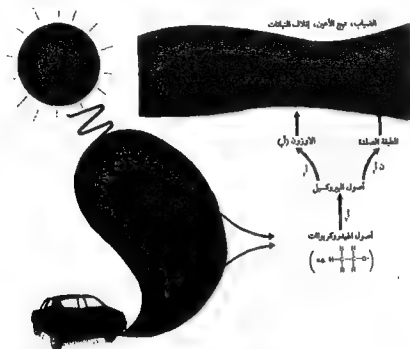
ولقد وجد عدد من المواد طريقه إلى الهواء، أساسا نتيجة نشاط الإنسان، قد

تعتبر هذه المواد ملوثات للهواء . وتختلف مصادر تلوث الهواء كثيراً ولكن يمكن تقسيمها الى مجموعتين: أحدهما نشاطنا الصناعي والتكنولوجي، فمعامل تكرير البترول، مصانع سبك المعادن (الشكل ٢١-٢٥)، مصانع توليد الكهرباء (يحرق الوقود) والسيارات، كلها تنتج كميات هائلة من الملوثات في الهواء وتشمل هذه الملوثات ما يلي:

- ١ - الهباب (من الوقود الغير محترق) وفترات المصانع من أشكال مختلفة
- ٢ - ثاني أكسيد الكبريت (ك ب أ) من تأكسد الوقود (مثل الفحم، الزيت) الذي يحتوي على مركبات الكبريت.
- ٣ - هيدروكربونات مختلفة (من الاشتعال الغير كامل للجازولين)، ومن تلك المواد البنزوين وهي مادة مسية للسرطان.
- ٤ - أكاسيد النيتروجين (مثل ن أ) الناتجة بالاتحاد الكيميائي للأوكسجين (أ) والنيتروجين (ن) (في اسطوانات ماكينات الإحتراق الداخلي).
- ٥ - أول أكسيد الكربون (ك أ) من الإحتراق الغير كامل لمواد الوقود. وفي ضوء الشمس الساطع، تتفاعل أكاسيد النيتروجين، الهيدروكربونات، الأوكسجين



الشكل ٢١-٢٥. حوض نحاس، ولاية تينسي. قتلت المزارع في تلك المنطقة بالحرق المتعمد وتلوث الهواء من صهر النحاس قبل عام ١٩٠٧. وبعد أكثر من نصف قرن فالتعرية المستمرة مازالت تمرقل محاولات إعادة التشجير. متوسط سقوط الأمطار أقل والحرارة أعلى من المناطق المحيطة (يتصرح من مصلحة الغابات الأمريكية).



الشكل ٢١-٢٦. أمثلة لتفاعلات تؤدي إلى تكوين هباب كيميائي ضوئي. الأصوات هي ذرات أو جزيئات بالكسرونات غير مزوجة. وهي شديدة التفاعل كيميائياً. PAN هو بيروكس أسيتايل نيترات.

كيميائياً لانتاج أكاسيد قوية مثل الأوزون (أ) ونترات البيروكسين أسيتايل (PAN) (الشكل ٢١-٢٦) وتتلف هذه الملوثات الثانوية بشدة الحياة النباتية وتؤدي إلى تكوين الهباب (Smog) كالنوع الموجود في مدينة لوس أنجلوس الأمريكية، تعتبر مادة (PAN) مسئولة أساساً عن تهيج العين والتهيج عند التعرض لهذا النوع من الهباب.

المجموعة الثانية المسببة لتلوث الهواء هي تدخين السجائر (السيجار والغليون غالباً لا يدخل دخانها الجسم، وعلى ذلك فإن تركيز دخانها الذي يصل إلى الرئتين لا يكون مرتفعاً كما في دخان السجائر)، ويحتوي دخان السجائر على عدد من الهيدروكربونات، ومنها البنزوبيرين.

فهل توفر الحماية الميكانيكية التي تعمل في الرئتين الحماية الكافية من تلوث الهواء؟ ليس من السهل الإجابة على هذا السؤال ولكن الاتجاه الذي يدعو إلى الأمل لتلك الإجابة ظهر من دراسات بحث فيها معدل الأمراض في أفراد اختلفت طرق تعرضهم



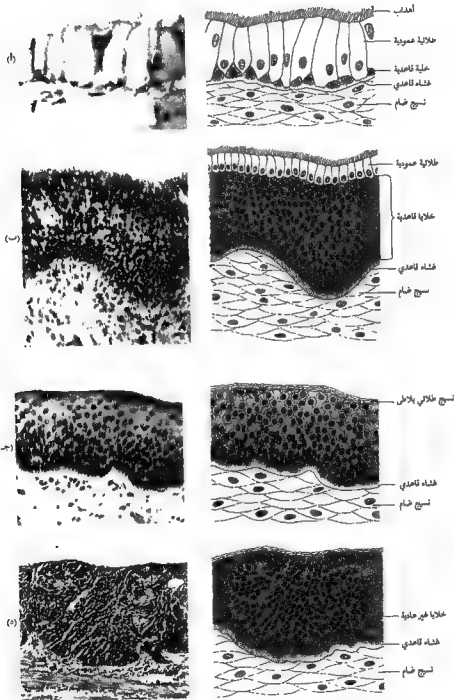
للملوثات الهوائية. ويوضح الشكل (٢١-٢٧) أن معدل سرطان الرئة في بريطانيا أعلى في مناطق المدن حيث توجد الصناعات الثقيلة. ولسوء الحظ، فانه من الصعب تفسير المعلومات من هذا النوع لأن سكان المدن يعتبرون كذلك من المدخنين بكثرة للسجائر أكثر من أقاربهم سكان الريف.

وبالرغم من ذلك، تتجمع دائما معلومات أكثر و أكثر، وأصبح واضحا أنه توجد أمراض في الإنسان أكثر انتشارا في الأفراد المعرضين لتلوث الهواء في حياة المدينة أو في الأفراد الذي يستنشقون الهواء الملوث بدخان السجائر (أو، خاصة، الأتئين معا). وتشمل هذه الأمراض الالتهابات الرئوية الحادة (Chronic Bronchitis) (أو ما يشبهها مثل الأمفيزيما) و الأزما (Asthma) ومشاكل في الجهاز الدوري وسرطان الرئة. وفي الحقيقة، إذا ما حلل الإنسان معدل الوفيات من جميع الحالات في ذكور الولايات المتحدة الأمريكية، فان هذا المعدل يتناسب نسبيا مع (أ) عدد السجائر التي يدخنها الأفراد يوميا، (ب) عمق دخول دخان السجائر بالجسم، (ج) عدد السنين منذ بدء التدخين. ولحسن الحظ، فان النتائج تبدو عكسية الآن، إذ أن المعدل الكلي للموت بين المدخنين يتناسب عكسيا مع الزمن الذي مضى منذ ترك المدخن لعادة التدخين.

وينشأ عن الالتهاب المزمن للخلايا الطلائية للشعب الرئوية تغيرات خلوية متعددة، ومن تلك التغيرات سمك الطبقة الطلائية، وفقد الخلايا الهدبية، وظهور خلايا بها أنوية شاذة (الشكل ٢١-٢٨). وأظهرت الدراسات أن مدى هذه التغيرات مرتبط



الشكل ٢١-٢٧. مناطق الموت فيها فوق المتوسط بسبب سرطان الجهاز التنفسي (القصبية، الشعب الرئوي) في إنجلترا، اسكتلندا، ويلز.



الشكل ٢١-٢٨. صورة فوتوغرافية دقيقة لـ (١) النسيج الطلائي للشعب (مكبرة جدا)، ب، ج، د، ثلاثة أطوار من التغيرات الغير طبيعية في الخلايا الطلائية للشعب والمعروف وجودها في المدخنين، (هـ) سرطان الرئة. يوضح الرسم الترتيب الخلوي الموجود في كل طور. (الصور الدقيقة بتصريح من أوسكار أورباخ، م. د. د.).



تابع الشكل ٢١-٢٨ . تكملة.

بكمية السجائر التي يدخنها الفرد. فالحلايا ذات الأنوية الشاذة، ربما تكون هي الخلايا التي تسبق ظهور السرطان بها (Precancerous)، تكون نادرة في الأفراد الغير مدخنين ولا يزداد عددها مع تقدم العمر. وعلى العكس من ذلك ففي الأفراد المدخنين، تكثر الخلايا الطلائية بأنويتها الشاذة وتزداد مع ازدياد سن التدخين ولحسن الحظ، يقل عدد هذه الخلايا ببطء عند الامتناع عن التدخين.

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

تستخدم الغالبية العظمى من الكائنات الأوكسجين كمستقبل اليكتروني نهائي في التنفس وتنتج ك أكتائج من عملية التنفس. ونشاط الخلية، النسيج أو الكائن، لدرجة كبيرة محدد بالمعدل الذي يمكنها به أن تتبادل غازي الأوكسجين وثنائي أكسيد الكربون مع البيئات المحيطة بها.

ومحدث تبادل الغازات بين الخلايا، بين (ECF) عن طريق الانتشار. والكائنات وحيدة الخلية وكذلك خلايا بعض الكائنات الصغيرة عديدة الخلايا قريبة بدرجة كافية للبيئة التي تعيش فيها حيث يقوم الانتشار بمفرده بتزويد احتياجاتها من تبادل الغازات. أما الكائنات الكبيرة عديدة الخلايا فلديها ملاءمة تجعل الخلايا العميقة بها تتبادل الغازات مع البيئة. ولقد وجد اقتراحان لذلك:

- (١) بعض الكائنات، مثل النباتات والحشرات، يكون تركيبها بحيث لا تبعد أي خلية عن جهاز مكون من قنوات مملوءة بالهواء وهذا الجهاز متصل بالجو.
- (٢) كثير من الحيوانات - كل الفقاريات، على سبيل المثال - لها أعضاء خاصة لتبادل الغازات بين البيئة وبين جهاز دوري مملوء بالدم، وتزود هذه الأعضاء الدم بـ أ<sub>٢</sub> من الدم، ويوزع الدم بدورة أ<sub>٢</sub> إلى جميع خلايا الجسم ويبعد ك<sub>٢</sub> أ<sub>٢</sub> منها.
- وفي الثدييات، تحدث تهوية الرئتين بحركة القفص الضلعي والحجاب الحاجز، وينظم معدل وعمق التنفس مستوي ك<sub>٢</sub> أ<sub>٢</sub> في الدم.

وتوجد ميكانيكية للتنظيف في الرئات والتي تجمعها من المواد الضارة الموجودة في الهواء. وعلى أية حال، فهذه الميكانيكية يمكن التغلب عليها والا أصيب الإنسان بأمراض خطيرة مثل التهاب الشعب المزمن، الأمفيزيما وسرطان الرئة.

#### EXERCISES AND PROBLEMS

#### تمارين ومسائل

- ١ - تتبع الممر الذي تأخذه جزيئات الأوكسجين من وقت دخوله من فتحة الأنف إلى أن يدخل خلية كرة دموية حمراء.
- ٢ - كيف تحسن الزواحف، الطيور، الثدييات كفاءة تهوية رئاتها أكثر مما تفعله البرمائيات؟
- ٣ - كيف تعوض البرمائيات كفاءتها المنخفضة في تهوية الرئتين؟
- ٤ - يتعارض انشاء الطرق السريعة دائماً مع الصرف الطبيعي للمياه، متسبباً بذلك في تجمع المياه في غابات كانت من قبل حسة الصرف، وسرعان ما ترى أشجاراً ميتة في تلك المناطق. علل ذلك.
- ٥ - لماذا تعتبر الحياشيم ضعيفة الملائمة للمعيشة على اليابسة؟

#### REFERENCES

#### المراجع

- 1- WIGGLESWORTH, SIR VINCENT, Insect Respiration, Oxford Biology Readers, No. 48, Oxford University Press, Oxford, 1972.
- 2- SCHMIDT - NIELESN, K., "How Birds Breathe," Scientific American, Offprint No. 1238, December, 1971.

- 3- HAMMOND, E. C., "The Effects of Smoking," Scientific American, Offprint No. 126, July, 1962. Includes a description of the functional and structural changes of the bronchi and alveoli in smokers.
- 4- LAVE, L. B., and E. P. SESKIN, "Air Pollution and Human Health," Science, Reprint No. 39, August 21, 1970. A comprehensive review of the various studies that have been made.
- 5- HUGHES, G.M., The Vertebrate Lung, Oxford Biology Readers, No. 59, Oxford University Press, Oxford, 1973.
- 6- HEATH, O. V. S., Stomata, Oxford Biology Readers, No. 37, Oxford University Press, Oxford, 1972.



## CHAPTER 22

## الباب الثاني والعشرون

### انتقال المواد في النباتات الوعائية

### THE TRANSPORT OF MATERIALS IN VASCULAR PLANTS

IMPORTANCE	الأهمية	١-٢٢
XYLEM	الخشب	٢-٢٢
PHLOEM	اللحاء	٣-٢٢
THE ORGANIZATION OF THE ROOT	تركيب الجذر	٤-٢٢
THE WOODY DICOT STEM	الساق الخشبية لذوات الفلقتين	٥-٢٢
THE HERBACIOUS DICOT SYSTEM	الساق العشبية لذوات الفلقتين	٦-٢٢
THE MONOCOT STEM	ساق ذوات الفلقة الواحدة	٧-٢٢
THE LEAF VEINS	عروق الورقة	٨-٢٢
THE TRANSPORT OF WATER AND MINERALS	انتقال الماء والأملاح المعدنية	
THE PATHWAY	المسار	٩-٢٢
MAGNITUDE OF FLOW: TRANSPIRATION	مقدار الأنسياب : التتح	١٠-٢٢
FACTORS AFFECTING THE RATE OF TRANSPIRATION	العوامل المؤثرة على معدل التتح	١١-٢٢
THEORIES OF WATER TRANSPORT	نظريات انتقال الماء	
ROOT PRESSURE	الضغط الجذري	١٢-٢٢
THE DIXON-JOLY THEORY	نظرية ديكسون وجولي	١٣-٢٢

**EVIDENCE FOR THE THEORY**

**THE TRANSPORT OF FOOD**

**THE PATHWAY**

**MECHANISM OF FOOD TRANSPORT**

**CHAPTR SUMMARY**

**EXERCISES AND PROBLEMS**

**REFERENCES**

٢٢-١٤ . دليل صحة النظرية

انتقال الغذاء

٢٢-١٥ . المسار

٢٢-١٦ . آلية انتقال الغذاء

ملخص الباب

تمارين ومسائل

المراجع



## الباب الثاني والعشرون

### انتقال المواد في النباتات الوعائية

IMPORTANCE

٢٢-١. الأهمية

النباتات أيضاً تواجه مشكلة نقل المواد خلال أجسامها. مشكلة الأمداد من وإلى الأنسجة الداخلية ليست حادة في النباتات كما هي في الحيوانات وكما سوف نرى فإن الأنسجة الحية في النبات تكون عادة قريبة من السطح. الحاجة الحقيقية إلى جهاز للنقل تنشأ بسبب الورطة التي تمجد النباتات الأرضية نفسها فيها. فالنبات لا يستطيع القيام بالبناء الضوئي بدون الماء وضوء الشمس وهو يؤمن احتياجاته المائية بإرسال مجموع جلري في التربة كما يؤمن احتياجاته من الضوء بتعريض أوراقه في الهواء وكلما ازداد نجاحه في تعريض أوراقه للضوء فوق النباتات المنافسة كلما ابتعد بهم عن مصادر الماء في التربة ويكون محتاجاً إلى جهاز كفاء للنقل لسد الفجوة ونقل الماء بسرعة من الجذور إلى الأوراق. جهاز النقل مطلوب أيضاً لضمان نقل الغذاء بكفاءة من الأوراق إلى الخلايا الحية في الساق والجذور من أجل اشباع متطلباتهم الغذائية اللازمة للأيض والنمو.

نقل المواد في النباتات يسمى الانتقال Translocation وهو يحدث في جهاز خاص من الأوعية الناقلة. هذه توجد في مجموعات تسمى الحزم الوعائية vascular bundles تمتد خلال كل أعضاء جسم النبات - الجذر، الساق، الورقة (في العروق) والزهرة - بحيث يتم الانتقال بين الأعضاء بسرعة وكفاءة. في الحزم الوعائية يوجد نوعان متميزان من الأنسجة: الخشب والحاء.

## XYLEM

## ٢٢-٢. الخشب

أهم أجزاء الخشب في النباتات الزهرية هي الأوعية (الشكل ٢٢-١) وهي عبارة عن أنابيب ذات جدر مغلظة تمتد رأسياً لعدة أقدام من نسيج الخشب. ويتراوح قطرها ما بين ٢٠ ميكرون فقط إلى حوالي ٧٠٠ ميكرون (٧، ٠ مم) بحسب الموقع والنوع النباتي الذي توجد فيه. جدر أوعية الخشب تكون مغلظة بترسبات ثانوية من السيليلوز وعادة تزداد صلابتها بوجود مادة لاصقة هي اللجنين lignin. لا ترتب الجدر الثانوية في الخشب بالتساوي ولكن على شكل حلزونات أو حلقات . . . الخ. وقد تكون جدر الأوعية مثقبة بالنقر pits.

تنشأ أوعية الخشب من خلايا مفردة أسطوانية عادة تكون مرتبة بحيث تتلاقى أطرافها وعند إكتمال نضجها تلدب الجدر الطرفية لهذه الخلايا وتموت المحتويات السيتوبلازمية وتكون النتيجة هي تكوين الوعاء الخشبي على هيئة قناة متصلة وميتة. وظيفة الأوعية الخشبية هي نقل الماء والأملاح المعدنية إلى أعلى.

توجد في نسيج الخشب كذلك قصيبات tracheids وهي عبارة عن خلايا مفردة قطرها حوالي ٣٠ ميكرون ويبلغ طولها عدة ميللمترات. في القطاع العرضي يمكن تمييزها عن الأوعية بواسطة جدرها المضلعة وفي كثير من الأحيان بواسطة حجمها الأصغر. أطرافها مستدقة وتتراب الأظراف المستدقة للخلايا المتجاورة. وكما في أوعية الخشب فإن للقصيبات جدر مغلظة ملحنته وعند إكتمال نضجها لا يوجد بها سيتوبلازم جدرها مثقبة بحيث يستطيع الماء والأملاح الذاتية أن تنساب من قصيبة إلى أخرى بسهولة ومثل أوعية الخشب تقوم القصيبات بنقل الماء والأملاح المعدنية إلى أعلى خلال الحزم الوعائية. في السرخسيات والمخروطيات تكون القصيبات هي القنوات الوحيدة لنقل الماء إذ لا يوجد بها أوعية.

## PHLOEM

## ٢٢-٣. اللحاء

أوعية النقل الأساسية في اللحاء هي الأنابيب الغربالية Sieve Tubes هذه تتكون من خلايا أسطوانية (قطرها حوالي ٢٥ ميكرون وطولها ١٠٠-٥٠٠ ميكرون) مرتبة بحيث تتلاقى أطرافها. الجدر الطرفية لخلايا الأنابيب الغربالية البالغة تكون مثقبة

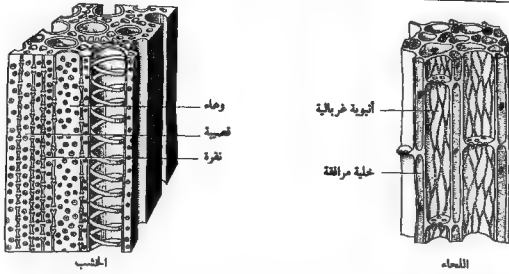
فتمسح للخيوط السيتوبلازمية بالامتداد بين الخلايا المتجاورة. مظهر هذه الجدر الطرفية تحت المجهر هو السبب في تسميتهم بالصفائح الغربالية Sieve plates (الشكل ٢٢-١). وكما في حالة أوعية الخشب والقصبية فان الأنابيب الغربالية تشكل قنوات متصلة تمتد من قاع النبات حتى قمته.

تختلف الأنابيب الغربالية عن أوعية الخشب والقصبية من حيث أن الخلايا التي تتكون منها لا تفقد السيتوبلازم عند نضجها ولكنها مع ذلك تفقد أنويتها. في معظم النباتات تقع خلايا الأنابيب الغربالية بجوار خلايا مرافقة Companion Cells (الشكل ٢٢-١) وهذه تحتفظ بأنويتها عند النضج وربما مارست بعض التحكم في نشاطات خلايا الأنابيب الغربالية. خيوط دقيقة من السيتوبلازم تسمى الروابط البلازمية plasmodesmata تربط سيتوبلازم الأنابيب الغربالية بسيتوبلازم الخلايا المرافقة.

الخشب واللحاء يكونان معا الحزم الوعائية في النبات. ترتيب الخشب واللحاء يختلف في الجذور والسوق وعروق الأوراق. بل ان ترتيب الحزم الوعائية في داخل العضو الواحد يختلف كثيرا من نوع نباتي Species إلى آخر. في دراستنا للتركيب الداخلي سوف نقتصر بالضرورة على أنواع قليلة فقط.

هناك قسمان رئيسيان من النباتات الزهرية: ذوات الفلقتين dicotyledons (أو اختصاراً dicots) وذوات الفلقة الواحدة monocotyledons (أو اختصاراً monocots) هذه الأسماء مستمدة من وجود مستودعين للغذاء (أو فلقتين) في بذور نباتات المجموعة الأولى أو مستودع غذائي واحد في بذور الثانية. تضم ذوات الفلقتين تشكيلة واسعة من النباتات فأصناف القرنيط والبقوليات والبناريات والبطاطم والدردار elm والبُلوط والقيقب maple ليست إلا أمثلة قليلة من الأصناف والأنواع العديدة من ذوات الفلقتين. أما ذوات الفلقة الواحدة فتتضمن الزنباق والنخيل والأركيد والتيلوب والبصل وكل النجيليات. النجيليات بدورها تشمل الذرة والقمح والأرز وكل محاصيل الحبوب الأخرى التي نعتمد عليها كثيرا في غذائنا.

تختلف ذوات الفلقة الواحدة عن ذوات الفلقتين في عدد من الصفات الأخرى غير تركيب البذور. إحدى هذه الصفات هي ترتيب الأنسجة الوعائية. بقية الاختلافات سوف نتعرض لها في الباب الخامس والثلاثين.



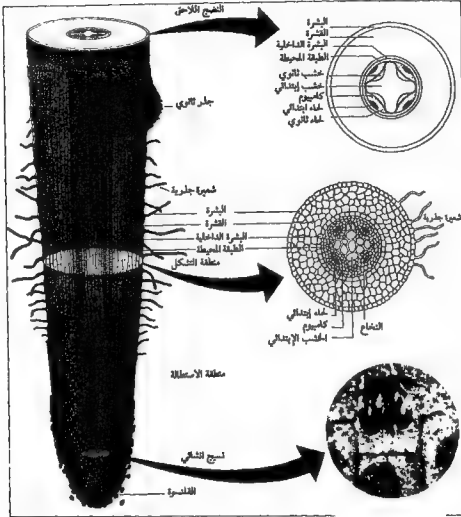
الشكل ٢٢-١. الأنسجة الوعائية. أوعية الخشب والقصيات (إلى اليسار) لا تحتوي على سيتوبلازم عند اكتمال تكوينها.

#### ٢٢-٤. تركيب الجذر: THE ORGANIZATION OF THE ROOT

الشكل ٢٢-٢ يوضح التركيب النموذجي لجذر حديث من ذوات الفلقتين. في القمة يوجد نسيج أنشائي meristem تنشأ منه تراكيب الجذر الأول (الابتدائي). الأنقسام غير المباشر في هذا النسيج الأنشائي يزيد من طول الجذر ويسبب كثرة حدوث الأنقسام غير المباشر في هذه المنطقة الجنينية فان قمم الجذور تستخدم كثيرا لتدريس هذا النوع من انقسام الخلية. تقوم القلنسوة root cap بحماية هذا النسيج الأنشائي من التهتك نتيجة الاحتكاك بحيبيات التربة.

بمجرد نشأة الخلايا من النسيج الأنشائي فانها تمر بفترة استطالة والمنطقة التي يحدث فيها ذلك تسمى منطقة الاستطالة region of elongation وبمجرد أن تكتمل استطالة خلايا الجذر فانها تبدأ عملية التشكل differentiation والتشكل يتضمن نشأة تراكيب متخصصة. الخلايا القريبة من سطح الجذر تتشكل لتكوين خلايا البشرة epidermis ومعظم هذه تحدث بها إمتدادات للجدار هي الشعيرات الجذرية root hairs وهي تزيد كثيرا من مساحة سطح الجذر كما أنها المداخل الرئيسية للماء.

في داخل البشرة تنشأ حلقة (كما ترى في المقطع العرضي) من خلايا برانشيمية تسمى



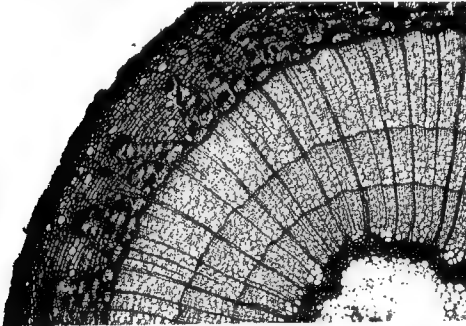
الشكل ٢٢-٢. تركيب جلد حديث لنبت من فوات الفلقتين في قطاع طولى (إلى اليسار) وفي قطاعات عرضية (إلى اليمين). تم تقصير القطاع الطولى لتوضيح كل مراحل نمو الجلد. (الصورة بتصريح من توتوكس).

القشرة Cortex. تعمل القشرة كم منطقة لتخزين الغذاء ويحدها من الداخل طبقة واحدة من الخلايا هي البشرة الداخلية endodermis في داخل البشرة الداخلية توجد الأسطوانة المركزية التي تحتوي على الحزم الوعائية. يحيط بالأسطوانة المركزية طبقة محيطية pericycle تنشأ منها أفرع الجذور (أو الجذور الثانوية). في داخل الطبقة المحيطية للجذر الحديث يوجد نسيج الخشب ونسيج اللحاء وخلايا برانشيمية تسمى النخاع pith. يرتب نسيج الخشب في حزم قطرية radial ويتبادل معه نسيج اللحاء (الشكل ٢٢-٢).

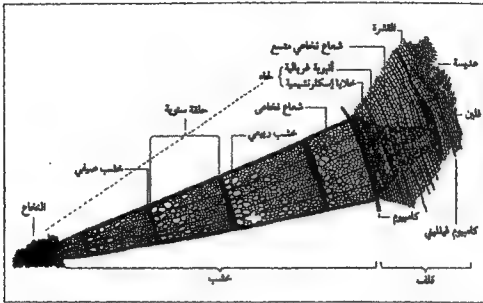
الحزم الوعائية الموجودة في الساق ليست إلا امتداد للحزم الموجودة في الجذر ولكنها مع ذلك تأخذ ترتيباً مختلفاً. كذلك تكون الحزم الوعائية في سوق ذوات الفلقة الواحدة مرتبة بصورة مختلفة تماماً عما هو موجود في سوق ذوات الفلقتين (ترتيب الأنسجة في جذور ذوات الفلقة وذوات الفلقتين متشابه إلى حد كبير). وحتى فيما بين ذوات الفلقتين فإن ترتيب الأنسجة في ذوات السوق الخشبية (النباتات المعمرة perennials) يختلف بعض الشيء عنه في ذوات السوق العشبية (الحوليات annuals).

## ٢٢-٥. الساق الخشبية لذوات الفلقتين : THE WOODY DICOT STEM

القطاع العرضي في ساق حديثة لشجرة التوليب (*Liriodendron tulipifera*) هو مثال جيد لترتيب الأنسجة في الساق الخشبية لنبات من ذوات الفلقتين (الشكل ٢٢-٣). يتكون الساق من ثلاث مناطق متميزة هي القلف bark والخشب wood والنخاع pith. المسطح الخارجي للقلف تحميه طبقات من خلايا الفلين cork الميتة والتي يوجد بها السيوبرين suberin والسيوبرين عبارة عن مادة شمعية تقلل كثيراً من فقد الماء من الساق. يوجد العديد من فتحات العديسات lenticels في الفلين وعن طريق هذه



الشكل ٢٢-٣. الحلقات السنوية في خشب نبات شجرة التوليب أو الحور الأصفر. كم كان عمر هذا الفرع عند قطعه؟ (بتصريح من جورج س. المور).



الشكل ٢٢-٤. التركيب النموذجي لساق خشبي من فوات الفلنتين. حزمة وعائية مفردة من ساق الزيزفون *Tilia* مبنية في قطاع عرضي.

الفتحات يتم تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين أنسجة الساق والهواء الجوي. يوجد تحت الفلين طبقات من الخلايا البرانشيمية تتكون منها القشرة Cortex هذه الخلايا تحتزن الغذاء في الساق تماماً كما تفعل في الجذر. في الساق الحديثة جداً (قبل تكوين الفلين) قد يوجد بها بلاستيدات خضراء وحيث يمكنها القيام بالبناء الضوئي. في الساق الأكبر عمراً ينشأ نسيج إنشائي بين القشرة والفلين ويعمل الانقسام غير المباشر في هذا النسيج الإنشائي (الكامبيوم الفليني cork cambium) على إحلال خلايا فلينية محل تلك التي تفقد بالتعرض للجو (الشكل ٢٢-٤).

الجزء الداخلي من القلف يتميز بوجود مساحات متبادلة من نسيج اللحاء والخلايا البرانشيمية. وتوجد الخلايا البرانشيمية عند أطراف الأشعة rays الأفقية التي تمتد بين النخاع والقلف. هذه الأشعة تؤدي وظيفة النقل الجانبي lateral transport للمواد بين المنطقتين. الجزء المتسع منها في القلف يعمل كذلك كمستودع للغذاء. نسيج اللحاء يتكون من حزم من الأنابيب الغربالية محاطة ومدعمة بخلايا إسكلرنشيمية Sclerenchyma.

الحل الداخلي لمنطقة القلف يتميز بوجود نسيج هو الكامبيوم Cambium وكتيحية

لنشاطه يتكون لحاء جديد باستمرار في منطقة القلب أثناء موسم النمو. وينتج الكامبيوم أيضا خشب جديد نحو الداخل.

الخشب xylem يكون منطقة الخشب wood. أوعية الخشب التي تتكون أثناء موسم الربيع وحينها يكون الماء متوفر بكثرة تكون أكثر إتساعا من الأوعية التي تتكون أثناء موسم الصيف. وخلال موسم الكمون لا يتكون خشب بالمرة. الفارق المرئي بين الخشب الصيفي في إحدى السنين والخشب الربيعي للسنة التالية يساعدنا على عد الحلقات السنوية annual rings. الشريط الخشبي الكامل الذي يتكون في موسم نمو واحد يشكل حلقة سنوية واحدة.

يؤدي الخشب وظيفة مزدوجة: التدعيم والنقل. في السوق المسنة تشارك إحدى الحلقات الخشبية في نقل المواد وهذه تسمى بالخشب العصيري sapwood أما الحلقات الداخلية من الخشب فتتوقف عن أداء وظيفة النقل ولكنها تمد الشجرة بتدعيم متزايد. هذا الجزء من الخشب هو الخشب الصمغي heart-wood.

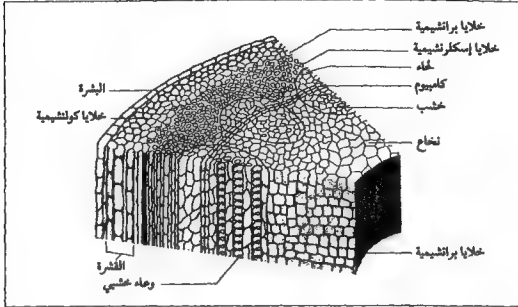
في الأجزاء الداخلية من الساق الحديثة يوجد النخاع وهو يحتوي على خلايا برانشيمية تعمل كمناطق لتخزين الغذاء. في السوق الخشبية المسنة يختفي النخاع.

## ٢-٦. الساق العشبية للذوات الفلقتين: THE HERBACIOUS DICOT STEM

التركيب الأساسي للساق العشبية في ذوات الفلقتين (الشكل ٢٢-٥) يشبه تركيب الساق الخشبية للذوات الفلقتين إلا أن سطح الساق تحمية فقط طبقة من البشرة وليس الفلين. ويوجد تحت البشرة خلايا القشرة وهي غالبا تحتوي على بلاستيدات خضراء وتقوم بالبناء الضوئي. الجزء الداخلي من الساق يكون معبأ بخلايا برانشيمية هي النخاع أما الأجزاء الخارجية من الحزم الوعائية فتحتوي على نسيج اللحاء مثلما كان الحال في السوق الخشبية للذوات الفلقتين. على الجانب الداخلي ينفصل اللحاء عن الخشب بنسيج الكامبيوم. على الرغم من أن الكامبيوم ينتج لحاء وخشب إضافيين أثناء موسم النمو إلا أنه لا تتكون حلقات سنوية.

وكما يدل الاسم فإن السوق العشبية للذوات الفلقتين لا تكون لها نفس قوة وصلابة السوق الخشبية للذوات الفلقتين وذلك لعدم وجود حلقات خشبية ولكن الساق تتلقى





الشكل ٢٢-٥. التركيب التشريحي النموذجي لساق خشبية من ذوات الفلقتين. لماذا لا توجد حلقات سنوية؟

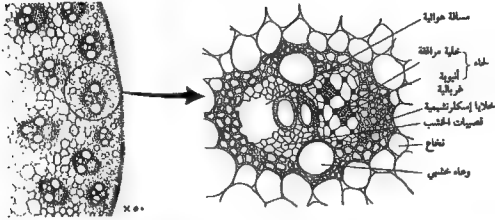
بعض التدعيم من تجمعات الخلايا الأسكلرنشيمية الموجودة بين اللحاء والقشرة.

## ٢٢-٧. ساق ذوات الفلقة الواحدة THE MONOCOT STEM

تركيب الساق في ذوات الفلقة الواحدة مختلف تماماً عنه في ذوات الفلقتين. القطاع العرضي في ساق الذرة (*Zea mays*) (الشكل ٢٢-٦) يبين هذه الاختلافات بوضوح. تتركب ساق الذرة من حلقة خارجية وجزء داخلي محشوب بالنخاع أما الحلقة الخارجية فانها تمد الساق بمعظم التدعيم وتنتشر الحزم الوعائية عشوائياً في النخاع. وهي تبدو في المقطع العرضي كرسم كاريكاتيري لوجه إنسان. تحيط بكل حزمة طبقة من خلايا سكلرنشيمية تدعم الخلايا الموجودة بداخلها ويوجد اللحاء في منطقة الجهة. الفحص الدقيق يكشف عن وجود خلايا مرافقة بين الأنابيب الغربالية. يوجد بالحزمة أربعة أوعية خشبية تكون فيها بينها العينين والأنف. معظم محيط الوعاء السفلي يلامسه الهواء الموجود في فجوة هوائية. قصبيات الخشب توجد في منطقة الخد.

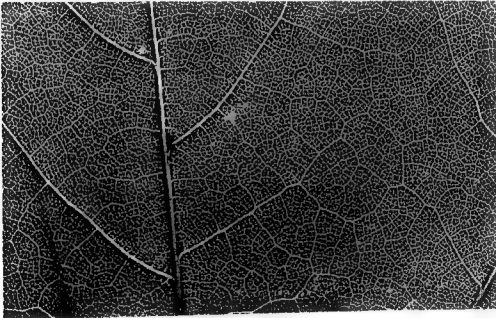
## ٢٢-٨. عروق الورقة : THE LEAF VEINS

الحزم الوعائية في الأوراق هي امتدادات مباشرة للحزم الوعائية الموجودة في الساق.

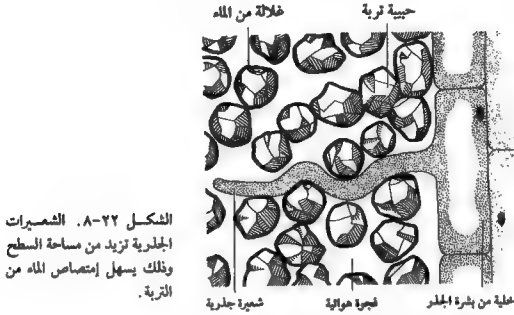


الشكل ٢٢-٦. التركيب النموذجي لساق نبات من ذوات الفلقة الواحدة. إلى اليمين تفاصيل حزمة وعائية مفردة. (الصورة بتصريح من ثيرتوكس).

وهي تمر من الساق إلى الورقة إلى العروق المختلفة في الورقة وهذه تتفرع إلى عروق متزايدة الدقة (الشكل ٢٢-٧) ربما لا توجد خلية في النسيج الأسفنجي للورقة تبعد أكثر من خليتين عن نهاية أحد العروق. الخشب واللحاء في أحد العروق (الشكل ٨-١٢) غالباً تحيط بهما طبقات من الخلايا الأسكروتنيمية التي تدعم العروق. والعروق بدورها تعمل كهيكل تدعيمي للأنسجة الرخوة في نصل الورقة.



الشكل ٢٢-٧. العروق في ورقة القيقب maple.



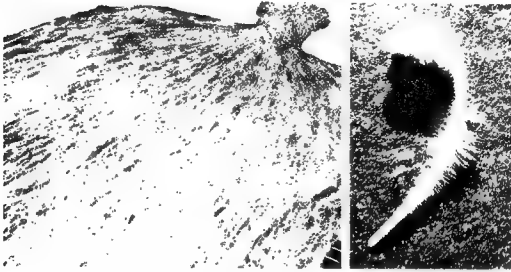
## انتقال الماء والأملاح المعدنية

### THE TRANSPORT OF WATER AND MINERALS

#### THE PATHWAY

#### ٢٢-٩. المسار:

يدخل الماء إلى النبات عبر الشعيرات الجلدية . هذه الامتدادات لخلايا البشرة لها جدر لزجة وتلتصق بقوة إلى حبيبات التربة وهذا يجعلها على إتصال مباشر بتلك الغلالة الرقيقة من الماء التي تلتصق أيضا بحبيبات جميع أنواع التربة ما عدا التربة شديدة الجفاف "bone-dry" (الشكل ٢٢-٨) . توجد الشعيرات الجلدية بالقرب من قمم الجذور فقط ولكنها توجد بأعداد هائلة . وقد أخذت قياسات دقيقة للمجموع الجذري لأحد النجيليات وهو الراى ryegrass بعد ٤ أشهر من النمو تبين أن للنبات ٣٨٧ ميل من الجذور وكان به تقريبا ١٣ مليون قمة جذر عليها ما يقدر بحوالي ١٤ بليون شعيرة جلدية (الشكل ٢٢-٩) . بمجرد دخول الماء إلى خلايا البشرة فإنه يمر خلال وبين خلايا القشرة . ولكنه لا بد أن يمر خلال سيتوبلازم البشرة الداخلية حتى يدخل إلى الأسطوانة المركزية . في الكثير من الجذور تشتمل البشرة الداخلية على خلايا متخصصة تسمى خلايا المرور passage cells هي التي تسهل عبور الماء إلى الأسطوانة المركزية . وبمجرد دخول الماء إلى الأسطوانة المركزية فإنه يصبح حراً مرة أخرى في الانتقال خلال



الشكل ٢٢-٩. منطقة الإمتصاص في الجذور. الى اليسار: بعد عامين من النمو انتج نبات واحد من القمح ٣١٩ ميل من الجذور (يتصرح من ساينس سيرفيس). الى اليمين: تزداد مساحة سطح الجزء الماص للماء كثيرا بواسطة الشعيرات الجارية عند قمة كل جذر (كما تبدو في جذر ابتدائي لبادرة الفجل).

وبين الخلايا. في الجذر الحديث يدخل الماء إلى الخشب مباشرة أما في الجذور المسنة فانه قد يكون عليه أن يمر أولا عبر شريط اللحاء والكامبيوم وهو يفعل ذلك عن طريق خلايا مستطيلة أفقيا هي خلايا أشعة الخشب *xylem rays*.

قد يفترض البعض أن الأملاح المعدنية تدخل و تتحرك داخل النبات ببساطة وهي ذائبة في الماء. وبينما يشترك الماء والأملاح المعدنية في نفس المسار النهائي فان إمتصاص الجذر للأملاح المعدنية له عدة سمات خاصة. فحتى عندما لا يمتص الجذر أي ماء فإن الأملاح المعدنية تدخل بحرية تامة. بل أكثر من ذلك أنها تستطيع الدخول ضد فرق التركيز أي من منطقة تركيز منخفض (التربة) إلى منطقة تركيز مرتفع (خلايا الجذور) لذا فان النقل النشط *active transport* لابد أن يكون له دور. وفي الواقع فان أي شيء من شأنه تعطيل عمليات النقل النشط بصفة عامة يعطل إمتصاص الأملاح المعدنية.

ربما ينبغي أن نؤكد هنا على أن كل العناصر التي يحتاج إليها النبات تُمتص على صورة غير عضوية أي أملاح معدنية. التروحين يدخل على هيئة نترات ( $\text{NO}_3^-$ ) أو أيونات أمونيوم ( $\text{NH}_4^+$ ). الفوسفور على هيئة فوسفات  $\text{PO}_4^{3-}$ ، البوتاسيوم على هيئة أيونات  $\text{K}^+$

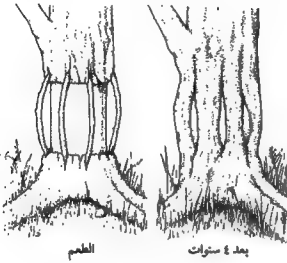
الكالسيوم على هيئة أيونات  $Ca^{++}$  وهكذا وعندما يستمع المرء إلى مزايا السداد العضوي عليه أن يتذكر أن هذه المادة لن تلبي الإحتياجات الغذائية للنبات حتى تتحلل إلى صورة غير عضوية. المادة العضوية تلعب دور هام في إكتساب التربة للمس جيد ولكنها لاتسد الإحتياجات الغذائية للنبات إلا بقدر ما تنتجه من أيونات غير عضوية.

بمجرد وجود الأيونات غير العضوية داخل خلايا البشرة للجذر فانها تعبر من خلية إلى خلية ربما عن طريق الروابط البلازمية. الخطوة الأخيرة من سيتوبلازم خلايا الطبقة المحيطة إلى الخشب تتحقق مرة أخرى بالنقل النشط.

وحالما يدخل الماء والأملاح المعدنية المترسبة فيه إلى الخشب فانها تتحرك إلى أعلى في الأوعية والقصبيات وهي تصعد خلال الجذر والساق. ويستطيع الماء أن يغادر الخشب عند أي مستوي ويمر جانبيا لأمداد الأنسجة الأخرى بها محتاج اليه. عند الأوراق ينحرف الخشب إلى عنق الورقة *petiole* ومنه إلى عروق الورقة. نظرة إلى النُدبة التي يتركها تساقط الأوراق من السوق الخشبية في الخريف سوف تبين النهايات المقطوعة للحزم الوعائية التي كانت تمد هذه الأوراق.

عند نهايات العروق يغادر الماء الخشب ويدخل إلى طبقة الخلايا الأسفنجية *spongy layer* والطبقة العمادية *palisade layer* من الورقة. هنا يستعمل الماء في البناء الضوئي وقد يتبخر من الأوراق في عملية تسمى التتح *transpiration*.

هناك براهين عديدة تدل على أن صعود الماء يحدث في الخشب. فمثلا إذا إنتزعت حلقة من قلف إحدى الأشجار بعناية وبذلك يتم التخلص من اللحاء فان صعود الماء سوف يستمر بلا انقطاع. مثل هذه العملية تسمى التحزيم *girdling*. ويتم تحزيم أشجار الفواكه وهي صغيرة بكثرة أثناء الشتاء بواسطة فئران الحقول الجائعة التي تغذى على القلف. وعند دخول الربيع تظهر الأوراق على الأشجار بصور طبيعية مما يعني أن صعود الماء والأملاح المعدنية لم يتعطل ومع ذلك فانه ما لم يتم تطعيم خاص للشجرة (الشكل ٢٢-١٠) فانها في النهاية سوف تموت. (لماذا؟). دليل اضافي على صعود الماء يأتي من وضع القمة المقطوعة لنبات في ماء يحتوي على احدى الأصباغ ينسحب الماء في الساق لبعض الوقت ثم يبين الفحص المجهرى للأنسجة الوعائية أن الصبغة قد تركزت في أوعية الخشب.



الشكل ٢٢-١٠. التطعيم  
بالجذور الذي يستخدم لإنقاذ  
الأشجار القيمة التي يحدث لها  
تجزيم . بدون هذا التطعيم تموت  
الجلود بسبب نقص الغذاء .

## ٢٢-١٠. مقدار الأنسياب : التنح

### MAGNITUDE OF FLOW : TRANSPIRATION

أي نظرية لتفسير صعود الماء في الخشب لابد أن تأخذ في الاعتبار الحجم الكبير للماء المنقول والسرعة التي ينتقل بها الماء . النباتات العشبية قد تمتص حجماً من الماء يفوق عدة مرات حجم النبات نفسه كل يوم . الماء الذي يحتوي على النظائر المشعة تبين أنه ينتقل خلال الساق بمقدار ٥٧ سم في الدقيقة .

١-٢٪ فقط من كل هذا الماء يستخدم في البناء الضوئي أو في النشاطات الأيضية الأخرى لخلايا الورقة . أما الباقي فإنه يتبخر من الورقة بعملية النتج transpiration في الباب الحادي والعشرين علمنا أن الماء يتبخر إلى المسافات الهوائية في الطبقة الأسفنجية . وعندما تفتح الثغور stomata ينتشر بخار الماء إلى الخارج . وإذا كان للورقة أن تستمر في أداء وظائفها بصورة طبيعية فإنه لابد من إمدادها بكميات جديدة من الماء لتعويض الماء المفقود بالنتج .

يوضح الشكل ٢٢-١١ جهاز يمكن بواسطته تقدير كمية بخار الماء المفقود بالنتج . كلما امتصت جذور النبات الماء حل محله ماء من الخزان الموجود في الجانب الأيمن عبر الأنبوبة المدرجة . وتعمل فقاعة هوائية يتم إدخالها في الجهاز على تقدير الحجم المستهلك . على الرغم من أن الجهاز الذي يسمى بوتومتر potometer يقيس الاستهلاك الكلي للنبات من الماء إلا أن ٩٨-٩٩٪ من هذا الماء يفقد بالنتج .

## ١١-٢٢. العوامل المؤثرة على معدل التنح

## FACTORS AFFECTING THE RATE OF TRANSPIRATION

- يستخدم البوتومتر يمكن دراسة تأثير العوامل البيئية المختلفة على معدل التنح.
- ١ - الضوء Light: النباتات تنتج بسرعة أعلى بكثير إذا تعرضت للضوء عما لو كانت في الظلام. السبب الرئيسي هو أن الضوء يعمل على تفتح الثغور (أنظر القسم ٢١-٤) وبذلك يزيد كثيرا من نقل الهواء المحمل بالرطوبة من المسافات الهوائية في الطبقة الأسفنجية إلى الخارج. الضوء يزيد أيضا من سرعة التنح عن طريق تدفئة الأوراق.
  - ٢ - درجة الحرارة Temperature: النباتات تنتج الماء أسرع بكثير عند درجات الحرارة العالية. عند درجة ٣٠ م تنتج الورقة بثلاثة أضعاف سرعة التنح عند درجة ٢٠ م. سبب ذلك أن الماء يتبخر أسرع كلما إرتفعت درجة حرارته وفي هذه الحالة تزيد رطوبة الهواء الموجود في المسافات الهوائية عما هو موجود بالخارج.
  - ٣ - الرطوبة Humidity: يتأثر معدل التنح أيضا بالرطوبة النسبية في الجو المحيط بالنبات. يقل معدل إنتشار أي مادة كلما قل الفرق في تركيز هذه المادة في



الشكل ١١-٢٢. البوتومتر أثناء الاستعمال. كلما نتج النبات الماء أو إستعمله في أغراض أخرى يتم تعويضه بماء من الحوض الأيمن وهذا يدفع الفقاعة الهوائية إلى اليسار وبذلك يسمح بقياس كمية الماء المستعمل بدقة.

منطقتين . والعكس أيضا صحيح . لذلك فإن إنتشار الماء من المسافات الهوائية المغلقة بالرطوبة في الورقة إلى الخارج يتباطأ كلما زادت الرطوبة في الجو المحيط بها . وعندما يكون الجو الخارجي جاف تزداد سرعة الأنتشار .

- ٤ — الرياح Wind: وجود تيارات هوائية لطيفة يزيد كذلك من معدل النتح . وعندما لاتوجد هذه التيارات يصبح الجو الملامس مباشرة للنبات مشبع بالرطوبة . ويتسبب ذلك في تخفيض معدل النتح لنفس السبب المذكور آنفا . وفي وجود رياح شديدة فانها تحمل الهواء الرطب بعيدا ليحل محله هواء جديد أكثر جفافا .
- ٥ — ماء التربة Soil Water: لا يستطيع النبات أن ينتح بسرعة ما لم يتم تعويض الماء المفقود بامتصاص مزيد من الماء من التربة . عندما يفشل امتصاص الجذور للماء من مواكبة معدل النتح يحدث نقص في الأمتلاء و تغلق الثغور . ويؤدي ذلك مباشرة إلى خفض كبير في معدل النتح . غالبا ما يمتد نقص الأمتلاء إلى أعضاء النبات الأخرى ويحدث الذبول wilting.

في الظروف المثلّي يكون فقد الماء من خلال النتح هائلا ويقدر أن فدان واحد من نباتات الذرة قد ينتح في موسم النمو حوالي ٤٠٠ ألف جالون من الماء . هذه الكمية تكفي في صورتها السائلة لتغطية هذا الحقل ببركة من الماء عمقها ١٥ بوصة . كمية الماء التي ينتحها فدان من أشجار البلغة في غابة نفضية deciduous forest قد تكون أكبر من ذلك بكثير .

لا بد لأي نظرية أن تفسر ليس فقط كميات الماء الهائلة المنقولة خلال الخشب ولكن أيضا الارتفاعات الشاهقة التي يصعد بها الماء . أشجار السيكويا sequoia وتوتوب Douglas fir المنتشرة على ساحل المحيط الهادي عادة تصل إلى ارتفاع ٣٠٠ قدم أو أكثر . وزن عمود من الماء له مثل هذه الارتفاع يخلق ضغط مقداره حوالي ١٤٠ رطل / بوصة مربعة . فإذا أخذنا في الاعتبار سرعة صعود الماء في الخشب والمقاومة المضادة لهذا الأنسياب من جدر القصبيات فانه من المحتمل أننا نحتاج لقوة دفع (أو جذب) مقداره ٣٠٠-٤٠٠ رطل / بوصة مربعة .

أي نظرية لتفسير صعود الماء لا بد أن تعتمد بالكامل على أمس فيزيائية . تذكر أن أوعية الخشب والقصبيات ميتة تماما . وقد أوضح ذلك أحد علماء النبات الألمان عندما قطع شجرة بلوط ارتفاعها ٧٠ قدم وغمس قاع الجذع في برميل به محلول حمض



الكريك . إرتفع المحلول في الجذع قاتلا كل الأنسجة القريبة منه كلما تقدم لأعلى وبعد ثلاثة أيام كان الماء - الذي أضيفت إليه إحدى الأصابع - ما يزال يواصل ارتفاعه بنجاح إلى قمة الشجرة .

## نظريات انتقال الماء : THEORIES OF WATER TRANSPORT

هناك نظريتان تستحقان الذكر لتفسير صعود الماء في الخشب .

### ١٢-٢٢ . الضغط الجذري : ROOT PRESSURE

عندما يقطع نبات طماطم بعناية بالقرب من قاعدة الساق يبرز سائل - عصارة - من الجزء المقطوع . اذا تم توصيل جهاز لقياس الضغط بهذا الجزء المقطوع نجد ان هذه العصارة تخرج منه تحت ضغط كبير (الشكل ١٢-٢٢) . هذا الضغط يسمى بالضغط الجذري . على الرغم من أن هذه التجربة ليست سهلة فقد سجل بعض الباحثين أن الضغط الجذري في نبات الطماطم يصل إلى ١٣٠ رطل/بوصة مربعة . وبينما لا يستطيع هذا الضغط رفع العصارة إلى قمة شجرة سيكويا إلا أنه يكفي لرفعها إلى قمة نبات الطماطم بل إلى قمة معظم الأشجار .

من المعتقد أن أصل الضغط الجذري يكمن في الفرق بين تركيز ماء التربة وتركيز



العصارة في قنوات الخشب . وقد تكون عصارة الخشب زائدة التوتر hypertonic بالنسبة لماء التربة بسبب وجود السكريات الذائبة أو الأملاح التي دخلت إلى الأسطوانة المركزية بالنقل النشط . ويكون ذلك صحيحا بصفة خاصة في النباتات الخشبية المعمرة حينما يحدث بها تميز .

الشكل ١٢-٢٢ . قياس الضغط

الجذري في نبات الطماطم .

للمواد النشوية المختزنة في جذورها إلى سكريات في الربيع المبكر .  
تذهب النظرية إلى أنه في مثل ذلك الوقت يمر الماء بالخاصية الأوزموزية خلال البشرة  
الداخلية إلى قنوات الخشب . إنسياب الماء إلى داخل أوعية الخشب المليئة بالعصارة  
يخلق ضغط يتم تنقيسه بصعود العصارة في هذه القنوات . هذه أساسا هي نفس الآلية  
التي إرتفع بها محلول المولاس في مقياس الأوزموزية الذي وصفناه في القسم ٦-٤ .

بينما أصبح الضغط الجذري الآن حقيقة مؤكدة إلا أنه لا يعطي تفسير كامل لصعود  
الماء في الخشب وعلى الرغم من تسجيل ضغوط جذرية عالية في نبات الطماطم فإنه لم  
يحدث تقريبا أن وجدت نباتات أخرى يزيد فيها الضغط الجذري عن ٣٠ رطل / بوصة  
مربعة كما أنه لم يمكن إكتشاف أي ضغط جذري بالمرّة في العديد من النباتات .

كذلك فإن حجم الماء المنقول بالضغط الجذري غير كاف لتفسير كميات المياه التي  
ينقلها الخشب . أضف إلى ذلك أن النباتات التي تبعث جذورها بكميات معقولة من  
العصارة عادة يكون بها أقل الضغوط الجذرية والعكس بالعكس .

هناك أيضا صعوبة أخرى مع نظرية الضغط الجذري لصعود الماء ، فحتى في تلك  
النباتات التي توجد بها ضغوط جذرية تكون أعلى القيم في موسم الربيع حينما تكون  
العصارة زائدة التوتر بشدة بالنسبة لماء التربة بينما معدل النتح منخفض . في الصيف  
حينما يكون النتح سريعا وبالتالي تكون حركة الماء خلال الخشب سريعة لا يمكن  
الكشف عن أي ضغط جذري بالمرّة .

وعلى ذلك فإنه بينما قد يلعب الضغط الجذري دور هام في نقل الماء في أنواع نباتية  
معينة (توضح الدراسات الحديثة أنه ربما كان أهم العوامل في حالة نخيل جوز الهند)  
وفي أوقات معينة إلا أنه لا بد لنا من البحث عن آلية بديلة .

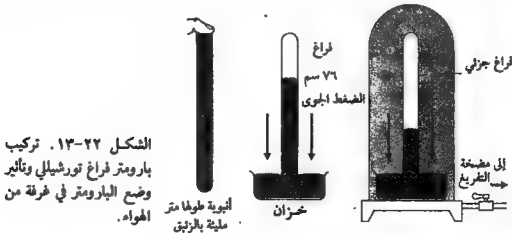
## ٢٢-١٣ . نظرية ديكسون وجولي THE DIXON - JOLY THEORY

في عام ١٨٩٥ اقترح عالما وظائف أعضاء النبات الأيرلنديان هـ . هـ ديكسون وج .  
جولي نظرية أخرى لتفسير صعود الماء في النباتات . فقد ظنا أن الماء يتم شده بالتوتر  
(الضغط السالب) من أعلى بدلا من دفعه بالضغط الجذري من أسفل . وكما شاهدنا

فان الأوراق تستعمل الماء بصفة مستمرة ويؤدي النتج إلى معظم ذلك ولكن البناء الضوئي والنشاطات الكيميائية الحوية الأخرى تؤدي إلى بعض هذا الاستهلاك كذلك. تبعا لنظرية ديكسون-جولي فإن إستهلاك الماء في الأوراق يعمل على جذب الماء إلى أعلى في قنوات الخشب لسحب المزيد من الماء إلى الأوراق. الجذب الواقع على الماء في أوعية الخشب ينبعث بدوره إلى الجذور فيسحب الماء من التربة إلى أوعية الخشب بالجلر.

أي شخص درس علم الفيزياء يعلم أنه حتى أدق مضخة تفريغ vacuum pump تستطيع جذب الماء حتى ارتفاع ٣٢ قدم وذلك لأن عمود ماء بهذا الارتفاع يمارس ضغط (حوالي ١٥ رطل/بوصة مربعة) يكفي تماما لمعادلة الضغط الجوي (الشكل ٢٢-١٣) كيف يمكن إذن سحب الماء إلى ٣٠٠ قدم أو أكثر تحت ضغط ٣٠٠-٤٠٠ رطل/بوصة مربعة.

الاجابة على هذا السؤال تكمن في خاصية جزيئات الماء من حيث التثبيت ببعضها البعض. هذه الخاصية تعرف بالتماسك cohesion فعندما يكون الماء محصورا في أنابيب ضيقة جدا فان قوة التماسك بين جزيئات الماء تمارس ضغط كبير على عمود الماء. وقد قدر تجريبياً أنه يلزم توتر يصل إلى ٣٠٠٠ رطل/بوصة مربعة لكسر هذا العمود من الماء وهو يعادل قوة أسلاك لها نفس القطر. وتبعا لنظرية ديكسون - جولي فان قوة التماسك لهذه الخيوط الدقيقة من الماء في قنوات الخشب بالإضافة إلى خاصية جزيئات الماء من حيث الالتصاق adhesion بجدر القنوات تمكن خيط الماء من الانجذاب نحو قمة أعلى الأشجار دون أن ينقطع ودون أن يبتعد عن جدر القنوات. استهلاك الماء في



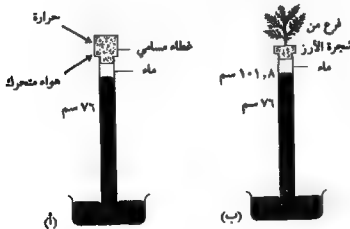
الأوراق خاصة بسبب التنح، يخلق التوتر الذي يستمر إلى أسفل في الخشب حتى يصل إلى الشعيرات الجلدية (نظرية ديكسون - جولي غالباً يطلق عليها اسم نظرية التنح بالجذب والتماسك the transpirational pull-cohesion theory) في الواقع يكون لخيطوط الماء الدقيقة نفس الخواص الفيزيائية للأسلاك الصلبة.

## ٢٢-١٤. دليل صحة النظرية EVIDENCE FOR THE THEORY

ما هو الدليل على صحة هذه النظرية؟ الشكل ٢٢-١٤ فيه نموذج تجريبي يبين أنه من الممكن بالفعل صعود الماء بهذه الآلية. تبخر الماء عند غطاء الطين المسامي يخلق توتر ينتقل إلى الماء والزئبق الموجودين في الأنبوبة الزجاجية. عند مراعاة عدم وجود هواء ذائب في الماء أمكن سحب عمود الزئبق إلى ارتفاع يصل إلى ٢٢٦ سم وهذا يكافئ رفع الماء إلى ما يقرب من ١٠٠ قدم في الهواء أو ثلاثة أضعاف الارتفاع الناتج عن الضغط الجوي الذي يعمل ضد فراغ تام.

هذا النموذج يوضح فقط أن هذه الظاهرة ممكنة ولكنه لا يثبت أنها تحدث بالفعل. عند إحلال فرع من شجرة الأرز cedar محل الغطاء المسامي فإن الزئبق يرتفع إلى أكثر من الارتفاع (حوالي ٧٦ سم) الذي يسببه الفراغ التام.

فإذا قبلنا النظرية التي مؤادها أن الماء في قنوات الخشب يكون تحت توتر وليس تحت ضغط فإنه يمكن استنباط بعض الحقائق المترتبة على ذلك. فإذا تأكدنا أن هذه الحقائق التي تنبأنا بها صحيحة في الواقع قاننا نكون قد تأكدنا من صحة النظرية. إذا كان الماء في وعاء خشبي تحت توتر فأننا نتوقع أن يقطع عمود الماء إذا دخل الهواء إلى الوعاء

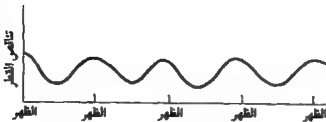


الشكل ٢٢-١٤. ارتفاع عمود الزئبق أكثر من ٧٦٠ سم نتيجة التبخر من (أ) الغطاء المسامي، (ب) فرع من شجرة الأرز.

الخشبي عن طريق أحداث ثقب فيه . وقد وجد أن ذلك يحدث بالفعل .

بالإضافة إلى ذلك إذا كان الماء في كل قنوات الخشب تحت توتر كبير فانه ينبغي أن يكون هناك جذب للدخل (بسبب قوى التلاصق) على جدر هذه القنوات . هذا الجذب نحو الداخل على جدر كل القنوات في منطقة الخشب العصيري بشجرة فيها نتح نشط ينبغي بدوره أن يؤدي إلى تناقص في قطر الشجرة . هذا الاستنتاج يمكن إختباره عن طريق القياس المستمر ، بالأجهزة المناسبة ، لأقطار جذوع الأشجار . الشكل ٢٢-١٥ يعطي النتائج التي توصل إليها عالم وظائف أعضاء النبات الأمريكي د . ت . ماكوجل باستخدام جذع إحدى أشجار صنوبر مونتيري Monterey pine . لقد تذبذب بالفعل قطر الشجرة ووصل إلى أقل قيمة بعد منتصف النهار مباشرة وهو وقت أعلى معدل للنتح .

في عام ١٩٦٠ أجرى فريق من علماء وظائف أعضاء النبات العاملين في أدغال شمال شرق أستراليا تجارب على نبات أسل الهند rattan vine أضافت دليل جديد على صحة نظرية ديكسون-جولي . يتسلق أسل الهند على أشجار الغابة ومن أجل أن يرتقى بأوراقه إلى الضوء يكون عليه أن يتسلق حتى إرتفاع ١٥٠ قدم . عند قطع هذا المتسلق وغمسه في حوض به ماء فانه يستمر في سحب الماء . من الواضح أن الضغط الجذري ليس له دور في هذه العملية لأن النبات قد انفصل عن مجموعة الجذري . نبات أسل الهند الذي يقل قطره عن بوصة واحدة سوف يشرب الماء بصورة غير محدودة بمعدل ١٢ ميليلتر في الدقيقة . وإذا أجبر على أخذ الماء من وعاء محكم الأغلاق فانه يفعل ذلك دون أي نقص في المعدل على الرغم من الفراغ الشديد الذي سرعان ما ينشأ في الوعاء . في الواقع يكون الفراغ شديدا للدرجة أن الماء المتبقى في الوعاء يأخذ في الغليان من تلقاء نفسه . (درجة غليان الماء تنخفض كلما إنخفض الضغط الجوي فوق الماء) .



الشكل ٢٢-١٥ . التباين اليومي في قطر شجرة صنوبر مونتيري . يصل قطر الشجرة إلى أقل قيمة له عندما يكون معدل النتح في أعلى قيمة له .

تقدم نظرية ديكسون-جولي تفسيراً لقدرة نباتات وعائية معينة على الحياة في الماء المالح . تنمو جنور نباتات الشورى mangrove في الماء المالح وهو محلول زائد التوتر بالنسبة لستوبلازم خلاياها . على أساس تركيزات الماء فإننا نتوقع أن يخرج الماء من خلايا النبات وتحدث البلزمة plasmolysis (تذكر كيف حدثت في خلايا الألوديا في الماء المالح - أنظر الشكل ٦-٨) . ومع ذلك فقد قيست توترات عالية للغاية في الجهاز الوعائي لنباتات الشورى . هذه التوترات (والتي تبلغ ٥٠٠-٨٠٠ رطل/بوصة مربعة) من الضخامة بحيث تستطيع شد جزيئات الماء في النبات ضد فرق الجهد الأوزموزي . بهذه الطريقة تستطيع نباتات الشورى تحلية ماء البحر لتغطية إحتياجاتها المائية .

على أساس كل هذه الأدلة تستطيع نظرية ديكسون-جولي تقديم تفسير مقبول لصعود السوائل في النباتات . وعلى الرغم من بقاء العديد من الأسئلة بدون إجابات إلا أن علماء وظائف أعضاء النبات يشعرون بأن النظرية قد تم إختبارها بما فيه الكفاية وأنها تصف بنجاح آلية صعود الماء والأملاح المعدنية الذائبة فيه من التربة إلى الأوراق في معظم إن لم يكن في كل النباتات .

## THE TRANSPORT OF FOOD

## انتقال الغذاء

### THE PATHWAY

### ٢٢-١٥ . المسار

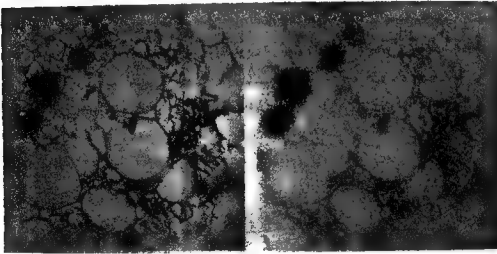
يتنقل الغذاء والمواد الأخرى (مثل الهرمونات) التي يقوم النبات بتصنيعها خلال الحزم الوعائية أيضاً . فالسكريات (عادة السكروز) والأحماض الأمينية والجزيئات العضوية الأخرى التي تم تصنيعها في الأوراق تدخل إلى خلايا اللحاء . وقد تعمل الروابط العضوية البلازمية على تسهيل هذا الدخول إذ أنها تربط خلايا البناء الضوئي في الأوراق بخلايا اللحاء .

بمجرد وجود السكر والجزيئات العضوية الأخرى في اللحاء فإنها قد تنتقل إلى أعلى أو إلى أسفل إلى أي منطقة في النبات . في حالة السكر الذي يكون مصيرة التخزين في الجذور فإنه يمر في صورة محلول خلال الساق والجذر وما أن يصل إلى الجذر حتى يخرج من اللحاء ويمر خلال الطبقة المحيطة بالبشرة الداخلية إلى خلايا القشرة وهنا يمكن

تحويله إلى نشا ويحفظ كغذاء مختزن .

إنتقال الغذاء خلال اللحاء يمكن توضيحه بتجاربه التحزيم . في الصيف وعند تحزيم الشجرة بحيث يستبعد منها اللحاء ويبقى الخشب كاملاً تستمر الشجرة على قيد الحياة . ومع ذلك لا تحدث زيادة في وزن الجلور . أكثر من ذلك أن التحليل الكيميائي للقلف الموجود أعلى الخزام مباشرة يدل على تراكم هائل للمواد الكربوهيدراتية . (هذا التراكم لا يحدث بعد التحزيم أثناء موسم الكمون حينما لا توجد أوراق على الشجرة) . لا يحدث التراكم للسكروز في القلف الموجود أسفل الخزام مباشرة .

دليل مباشر آخر على المسار الذي تسلكه المواد العضوية في النبات موضح في الشكل ٢٢ - ١٦ . تم إمداد ورقة بهاء مشع ( $^3\text{HOH}$ ) وترك لتقوم بالبناء الضوئي لمدة ٣٠ دقيقة . وبعد هذه المدة تبين أن النشاط الإشعاعي في العنق (الذي يمر فيه الخشب واللحاء من نصل الورقة إلى الساق) قد تركز في الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة .



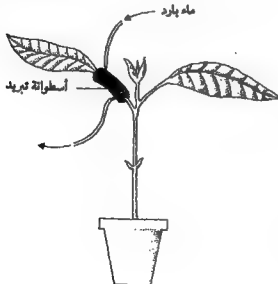
الشكل ٢٢-١٦ . توضيح بالتصوير الإشعاعي الذاتي أن نواتج البناء الضوئي تنتقل خلال اللحاء . تم إمداد ورقة نبات الخيار بهاء مشع وترك لتقوم بالبناء الضوئي لمدة ٣٠ دقيقة . عندئذ أخذت شرائح من العنق وغمرت بمستحلب تصوير . النواتج المشعة للبناء الضوئي جعلت المستحلب قاتماً عند أماكن ملاصقة للححاء (الجانب الأعلى الأيسر) ولكن ليس عند أماكن ملاصقة للخشب (الوسط) . في الصورة اليسرى المأخوذة بالمجهر كان التركيز على الأنسجة حتى تتضح الخلايا تماماً ، في الجانب الأيمن كان التركيز على مستحلب التصوير . (بتصريح من ر . س . جاج وس . أرونوف) .

تنتقل المواد الغذائية خلال اللحاء بكفاءة عالية. فبعض الثمار مثل القرع العسلي Pumpkin تتلقى أكثر من نصف جرام من المواد الغذائية كل يوم من خلال اللحاء وقد وجد أن ثمار أخرى تتلقى أكثر من ذلك. وحيث أن الغذاء ينتقل في صورة محلول مائي مخفف إذن لابد من أنه ينساب بسلاسة عالية وفي الواقع أوضحت الدراسة بالنظائر المشعة أن المواد تستطيع الانتقال خلال ١٠٠ سم من اللحاء في الساعة.

## ٢٢-١٦ . آلية انتقال الغذاء MECHANISM OF FOOD TRANSPORT

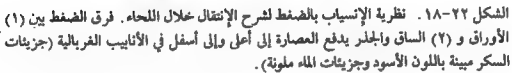
آلية انتقال السكريات والجزئيات الأخرى التي يقوم النبات بتصنيعها خلال اللحاء ليست مفهومة حتى الآن. ويبدو أنها تعتمد على النشاط الأيضي لخلايا اللحاء لأن أي ظروف تبطيء من أبطئها تبطيء أيضا من معدل الانتقال. الشكل ٢٢-١٧ يوضح الجهاز المستخدم في دراسة تأثير خفض درجة الحرارة على معدل الانتقال. نقص الأوكسجين أيضا يقلله وأي شيء يقتل خلايا اللحاء يضع نهاية للعملية كلها.

وضعت عدة نظريات لتفسير حركة المواد الغذائية خلال اللحاء. طبقا لأحدى هذه النظريات فإن الماء الذي يحتوي على جزيئات الغذاء في محلول ينساب تحت ضغط خلال اللحاء. وينشأ هذا الضغط من الفرق في تركيز الماء في المحلول الموجود بالخشب وفي الماء النقي تقريبا الموجود في قنوات الخشب القريبة. مع تراكم السكريات والناتج الأخرى للبناء الضوئي في اللحاء يدخل الماء بالخاصية الأوزموزية (الشكل ٢٢-١٨)



الشكل ٢٢-١٧ . خفض درجة حرارة العنق يخفض من معدل انتقال الغذاء من الأوراق.





إلى أي مدى تتفق هذه النظرية مع الحقائق والملاحظات؟ طبقا لهذه النظرية لابد أن تكون محتويات الأنابيب الغربالية تحت ضغط وقد وجد أن ذلك صحيحا. فعندما تثقب الحشرات الماصة للعصارة مثل المن aphids الأنابيب الغربالية فإن العصارة تنساب إلى أجزاء فم الحشرة ثم إلى جسمها بدون مساعدة إضافية. وحتى إذا فصل جسم الحشرة عن أجزاء الفم فإن العصارة الغنية بالسكر تستمر في الانسياب عند مكان القطع (الشكل ٢٢-١٩). تتطلب هذه النظرية أيضا أن يكون الضغط الأوزموزي



الشكل ٢٢-١٩. إلى اليسار: حشرة من تغذى على فرع من شجرة زيزفون. السكر الزائد يخرج على هيئة قطرة من العسل الذي يصلح كغذاء للنمل والنحل. تدخل العصارة الموجودة في اللحاء إلى فم الحشرة تحت ضغط. إلى اليمين: مستطيل القطرة تبرز من أجزاء الفم بعد إستئصال جسم الحشرة عن قمها. (بتصريح من مارتن هـ. زيمرمان، سانيس، ١٣٣-٧٩، ١٩ يناير ١٩٦١).

في لحاء الأوراق اكبر منه في لحاء الأعضاء المستقبلية للغذاء مثل الجذور. ويبدو ذلك صحيحا بصفة عامة على الرغم من وجود إستثناءات واضحة.

من ناحية أخرى فإن المرء يتنبأ على أساس هذه النظرية بأن العوامل المؤثرة على معدل الأيض في خلايا اللحاء نفسها لا يكون لها تأثير على الانتقال والسبب أن الطاقة الأيضية تكون مطلوبة فقط عند نهايات الجهاز أي لترتيب السكريات في لحاء الأوراق ولسحبهم مرة أخرى من لحاء الجذر والساق النامي (الشكل ٢٢-١٨). ولكن كما رأينا فإن النقل خلال اللحاء يتأثر بالتشبيط الموضعي للأيض فيه (الشكل ٢٢-١٧). أضف إلى ذلك أن هناك سؤال حقيقي عما إذا كانت الضغوط المقاسة كافية لدفع العصارة خلال الأنابيب الغربالية بالسرعات التي تم تسجيلها.

هناك نظريات أخرى بديلة تتجنب الصعوبات التي تكتنف نظرية الأنسياب بالضغط  $pressure-flow$  (ولكن تكتنفها الصعاب الخاصة بها). العديد من هذه النظريات تفترض وجود نوع من الضخ الموضعي يعمل في تسلسل على طول الأنابيب الغربالية- ربما عند كل صفيحة غربالية. مثل هذه النظريات يمكن أن تفسر لماذا يمتنع الانتقال خلال جزء محدود من اللحاء بالتبريد. ومع ذلك فحتى الآن لا توجد نظرية واحدة تعطى تفسير كافي لكل الحقائق المعروفة عن الانتقال في اللحاء. مثل تلك

النظرية مازالت في إنتظار المزيد من الملاحظات وطرق القياس الأفضل والتجارب الجديدة وبصفة خاصة التخييل البناء الذي يستطيع تجميع كل ذلك في نظام شامل.

## CHAPTER SUMMARY

## ملخص الباب

الخشب واللحاء يمثلان واحدا من أهم مظاهر تأقلم النباتات مع البيئة الأرضية. من أجل الاستمرار في القيام بعملية البناء الضوئي لأبد للنباتات من تعرض سطح واسع يحتوي على الكلوروفيل للضوء. بالنسبة للنباتات الأرضية فإن ذلك يعني تعرض سطح واسع للتأثير الجفافى للهواء وحتى يستمر النبات الأرضي حيا فلا بد له من الحصول على الماء اللازم للبناء الضوئي ولتعويض الماء المفقود بالنتح وذلك بهاء جديد من التربة. كما رأينا فإن تركيب ووظيفة الخشب يسمحان بذلك. ومن ناحية أخرى فإن الجذور التي تمتص الماء تحتاج إلى الغذاء كى تظل على قيد الحياة واللحاء يحل مشكلة النقل هذه. هذان النسيجان لعبا دورا حاسما في غزو النباتات الوعائية لكل أرض مكشوفة على هذا الكوكب تقريبا بنجاح.

## EXERCISES AND PROBLEMS

## تمارين ومسائل

- ١ - تتبع المسار الذي تسلكه ذرة هيدروجين من لحظة دخولها إلى احدى الشعيرات الجذرية وهي في جزيء ماء حتى لحظة تخزينها في قشرة الجذر وهي في جزيء نشا.
- ٢ - ما هي نواحي الاختلاف بين الجهاز الدوري لنبات والجهاز الدوري لحيوان فقاري؟
- ٣ - الكثير من النباتات قليلة الارتفاع يفرز قطرات من الماء على طول حواف الأوراق. هذه الظاهرة التي تعرف بالأدماع guttation تحدث بصفة خاصة أثناء ليالي الربيع الرطبة. ما هي قوى رفع الماء في الخشب التي تعتقد أنها مسؤولة عن الأدماع؟ ولماذا؟
- ٤ - ماهي وظائف الجذور في شجرة القيقب؟
- ٥ - لماذا يتم تقليم بعض الفروع من شجرة أو شجيرة بعد نقلها مباشرة؟
- ٦ - إذا كنت تقوم بعد الحلقات السنوية في شجرة دردار وجدت بضع حلقات

- ضيقة داخل عدد من الحلقات الواسعة فماذا تستنتج من ذلك؟  
 ٧ — ماهو التلاصق؟ وما هو الدور الذي يلعبه في عملية صعود الماء؟  
 ٨ — ما هو التماسك؟ وما هو الدور الذي يلعبه في عملية صعود الماء؟  
 ٩ — ماهي وظيفة صعود العصارة بالنسبة لشجرة قيقب؟

## REFERENCES

## المراجع :

- 1- ZIMMERMANN, M. H., "How Sap Moves in Trees," Scientific American, Offprint No. 154, March, 1963. a brief review of our knowledge of translocation in both the xylem and the phloem.
- 2- RAY, P. M., The Living plant, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1972. Chapters 5 and 7 expand on the topics treated in this chapter.
- 3- EPSTEIN, E., "Roots," Scientific American, Offprint No. 1271, May, 1973. With examples on the role roots play in "mining" the minerals of the soil.
- 4- WOODING, F. B. P., Phloem, Oxford Biology Readers, No. 15, Oxford University Press, Oxford, 1971.
- 5- RUTTER, A. J., Transpiration, Oxford Biology Readers, No. 24, Oxford University Press, Oxford, 1972.

## CHAPTER 23

## الباب الثالث والعشرون

### الاجهزة الدورية في الحيوانات

### ANIMAL CIRCULATORY SYSTEMS

SIMPLE TRANSPORT MECHANISM	آليات النقل البسيطة	١-٢٣
A (CLOSED) SYSTEM: THE EARTH WORM	جهاز مغلق: دودة الأرض	٢-٢٣
AN (OPEN) SYSTEM: THE GRASSHOPPER	جهاز مفتوح: النطاط:	٤-٢٣
THE SQUID	الاسكويد:	٤-٢٣
SINGLE PUMP: THE FISH	مضخة واحدة: السمك:	٥-٢٣
THREE CHAMBERS:	ثلاث غرف:	٦-٢٣
THE FROG AND THE LIZZARD	الضفدعة والسحلية:	
FOUR CHAMBERS: BIRDS AND MAMMALS	أربع غرف: الطيور والثدييات:	٧-٢٣
THE PATHWAY OF CIRCULATION IN HUMANS	مسار الدورة في الانسان	
THE HEART	القلب:	٨-٢٣
THE SYSTEMATIC BLOOD VESSELS	الاورعة الدموية الجهازية:	٩-٢٣
THE CAPILLARIES	الشعيرات الدموية:	١٠-٢٣
RETURN OF BLOOD TO THE HEART	رجوع الدم الى القلب:	١١-٢٣
THE COMPONENTS OF BLOOD	مكونات الدم:	
THE BLOOD CELLS	خلايا الدم:	١٢-٢٣
RED BLOOD CELLS	الخلايا الدموية الحمراء	

WHITE BLOOD CELLS	الخلايا الدموية البيضاء
PLATELETS	الصفائح
THE PLASMA	البلازما . ٢٣-١٣
FUNCTIONS OF BLOOD	وظائف الدم:
OXYGEN TRANSPORT	٢٣-١٤ . نقل الأوكسجين:
CARBON DIOXIDE TRANSPORT	٢٣-١٥ . نقل ثاني أكسيد الكربون:
EXCHANGES BETWEEN THE BLOOD AND THE CELLS	٢٣-١٦ . التبادل بين الدم والخلايا:
THE LYMPHATIC SYSTEM	٢٣-١٧ . الجهاز الليمفاوي:
THE CONTROL OF CIRCULATION	التحكم في الدورة:
THE HEART	٢٣-١٨ . القلب:
AUXILIARY CONTROL OF THE HEART	٢٣-١٩ . التحكم المساعد للقلب:
PERIPHERAL CONTROL OF THE CIRCULATION	٢٣-٢٠ . التحكم السطحي للدورة:
THE TRANSPORT OF HEAT	٢٣-١٢ . نقل الحرارة:
CLOTTING OF BLOOD	٢٣-٢٢ . تجلط الدم:
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب
EXERCISES AND PROBLEMS	تمارين ومسائل
REFERENCES	المراجع

## الباب الثالث والعشرون

### الأجهزة الدورية في الحيوانات

#### ٢٣-١. آليات النقل البسيطة :

##### SIMPLE TRANSPORT MECHANISMS

لا تحتاج الأحياء الدقيقة والحيوانات الصغيرة جداً لجهاز خاص بالنقل . فالانتشار، النقل النشط، سريان السيتوبلازم كافية لتأكيد أن كل جزء من أجسامها يحصل على احتياجاته من المواد . فالفراغات الغذائية التي تتكون في الأميبا يحركها سريان السيتوبلازم في جميع أنحاء الخلية حيث يحدث الهضم للمحتويات الغذائية . وتقر بعد ذلك جزيئات الغذاء المهضوم بالانتشار أو بالنقل النشط (Active Transport) في السيتوبلازم . وحتى يمكن لحيوان معقد كالبلاناريان أن يعيش بدون دورة دموية حقيقية - بالرغم من وجود كمية قليلة من السائل الذي تستحم فيه أجهزة البلاناريان الداخلية - فالحركة الوحيدة التي تصدر عن هذا الحيوان هي حركات جسمه القليلة من الانقباض والانفراج . ولقد رأينا أن شكل حيوان البلاناريان يجعله في غير حاجة لضرورة لجهاز خاص لحمل الأوكسجين وثنائي أكسيد الكربون - كما أمكن تقليل الحاجة للنقل الكثير للمواد الغذائية المهضومة بوجود فراغ جهازي معوي كثير التفرع (انظر الشكل ٣٩-٥) . ويحدث الهضم في البلاناريان داخل الخلية ولا توجد منطقة في الجسم تبعد عن الخلايا التي تبتلع المواد داخل البلازما (Endocytic) والتي تبطن الفراغ الجهازي المعوي والذي يحدث فيه الهضم .

#### ٢٣-٢. جهاز مغلق : دودة الأرض :

##### A (CLOSED) SYSTEM: THE EARTHWORM

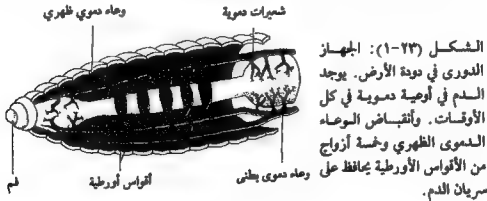
دودة الأرض حيوان كبير ومعقد، ولها جهاز دوري لنقل المواد، ولها جميع الصفات

الضرورية لجهاز دورى فعال، وهذه الصفات هي : (١) سائل تذوب فيه المواد المراد نقلها، (٢) جهاز من الأوعية أو القنوات التي يسير فيها السائل، (٣) مضخة تعمل دائماً على سريان السائل، (٤) أجهزة خاصة للقيام بتغييرات بين السائل والبيئة الخارجية. ونضم تلك الأجهزة (مثل جدار الجسم والامعاء) والتي تضيف مواداً إلى السائل، وأجهزة أخرى (مثل جدار الجسم وأعضاء الإخراج) والتي تبعد المواد من السائل وتغذفها في البيئة الخارجية.

والسائل الجاري في دودة الأرض هو الدم، وهو غالباً ماء تذوب فيه غازات، سكريات، أمحاض أمينية، أملاح وجزيئات أخرى وأيونات كثيرة تلعب دوراً في التمثيل الغذائي في دودة الأرض. وتزداد كفاءة دم دودة الأرض كوسيلة لنقل الأوكسجين بوجود حبيبات حمراء تعمل على حمل الأوكسجين هي الهيموجلوبين. ولا يوجد هيموجلوبين دودة الأرض في داخل خلايا دم حمراء كما في الإنسان، ولكنه ببساطة يكون ذائباً في الدم.

وينقل الدم في دودة الأرض في جهاز دموي وعائي متقن، ويمكنه فقط القيام بوظيفة تبادل المواد مع الخلايا الفردية عندما يمر داخل الشعيرات الدموية الدقيقة. ولأن الدم موجود دائماً داخل أوعية دموية، فيقال أن لدودة الأرض جهاز مقفل. وتتكون المضخة التي تدفع الدم إلى الشعيرات الدموية من خمسة أزواج من الأقواس الأورطية (الشكل ٢٣-١).

ويدفع الانقباض العضلي لجدار تلك الأقواس الأورطية الدم إلى الوعاء الدموي السفلي، ويحمل هذا الوعاء الأخير الدم تجاه خلف الدودة ويوزع الدم إلى جهاز متقن





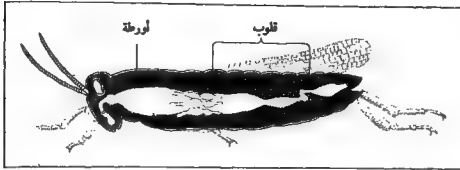
من الأوعية الأصغر منه . وكل من تلك الأوعية الصغيرة تنتهي في شعيرات دموية حيث يحدث التبادل بين أعضاء التبادل (Exchange Organs) والدم وبين الدم والأنسجة . وبمجرد وجود الدم داخل تلك الشعيرات الدموية يأخذ الدم جهاز آخر من الأوعية يؤدي إلى السوءاء الدموي الظهري والذي ينقبض أوتوماتيكياً ، دافعاً الدم ثانية إلى الأقسام الأورطية عند النهاية الأمامية للدودة .

### ٢٣-٣ . جهاز مفتوح : النطاط : AN (OPEN) SYSTEM: THE GRASSHOPPER

يختلف الجهاز الدوري الموجود في الحشرات عن مثيلة الموجود في دودة الأرض من وجهة هامة . فالدم في الحشرات يوجد داخل أوعية أثناء جزء واحد فقط خلال دورته في الجسم ، إذ توجد بقية الرحلة في فراغ الجسم نفسه . ويعرف مثل هذا الجهاز بالجهاز الدوري المفتوح . ويبقى حجم الدم المطلوب لمثل هذا الجهاز عند حد عملي (واقعي) بتقليل حجم فراغ الجسم (Hemocoel) . ويحتفظ الدم بـريانه وتوزعة بتقسيم فراغ الجسم هذا إلى غرف تسمى تجاويف (Sinuses) .

وفي النطاط ، يتكون الجزء المقفل من الجهاز من أنبوبة طويلة هي القلب والأورطة واللدان يسيران موازيان للسطح العلوي للحشرة (الشكل ٢٣-٢) . ويضخ القلب الدم إلى تجاويف فراغ الجسم ، حيث يحدث تبادل المواد . وتعمل الحركات المنتظمة لعضلات الجسم على رجوع الدم إلى الخلف في التجويف المحيط بالقلب وهو التجويف العلوي . وبين الانقباضات ، تنفتح صمامات دقيقة موجودة في جدار القلب تسمح للدم بالدخول إلى القلب من هذا التجويف العلوي ، متماً بذلك الدورة .

ويبدو أن الجهاز الدوري المفتوح في النطاط وكأنه غير كفء بالمقارنة بالجهاز الدوري المقفل الموجود في دودة الأرض . ولكن لا بد من أن يوضع في الحسبان . على أية حال أنه يوجد فرق واضح في الوظيفة التي يؤديها كل من هذين الجهازين . وتذكر أنه في النطاط ، يحدث تبادل غازي الاوكسجين وثنائي أكسيد الكربون في الجهاز القصبي ، ولا يلعب الدم أي دور في هذه العملية ، كما لا توجد حبيبات هيموجلوبين لحمل الاوكسجين في دم النطاط . وأثبت الكثير من التجارب والدراسات بوضوح أن مشكلة نقل الغازات هي المسؤولية الرئيسية المطلوبة من الجهاز الدوري . وفي الحيوانات مثل النطاط وحشرات أخرى حيث لا يعتمد تبادل الغازات على الجهاز الدوري ، فإن المطلوب



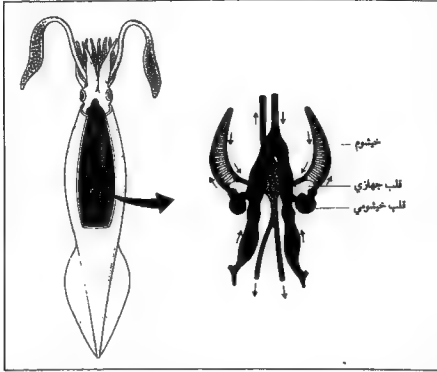
الشكل (٢٣-٢): الجهاز الدوري في النطاط هو جهاز مفتوح يوجه الدم فقط داخل أوعية فقط أثناء نموه بسيط من دورته خلال الجسم.

من الأخير أقل بكثير من المطلوب من الجهاز الدوري في حيوانات (مثل دودة الأرض) حيث أن الوظائف مرتبطة.

#### THE SQUID

#### ٢٣-٤ . الأسكويد

ان الجهاز الدوري المقفل في الأسكويد له أهمية خاصة لانه يحتوي على ثلاثة مضخات منفصلة للحفاظ على قيام الدورة الدموية (الشكل ٢٣-٣). فيضخ أحد القلوب الدم إلى جميع الأجهزة الداخلية والأنسجة بالجسم، ويعمل القلبان الاخران ببساطة على ضخ الدم من تلك الأجهزة الداخلية والأنسجة إلى الخياشيم، حيث يحدث تبادل الغازات. ولتفهم ميزة مثل هذا الجهاز، فمن المهم معرفة أن الضغط الناتج عن انقباض القلب يتدد كلية بمجرد دخول الدم في الشعيرات. ولو أن تلك الشعيرات دقيقة جداً، إلا أن مساحة المقطع العرضي الكلي لكل الشعيرات التي يغذيها وعاء دموي رئيسي واحد أكبر بكثير من مساحة المقطع العرضي للوعاء الدموي نفسه. ويمكن مقارنة هذه الحالة بتلك التي تحدث عند المسح لتيار ضيق ومحدد يسير بسرعة وذلك بتركة ينتشر خارجياً فوق مساحة مفلطحة، فالقوة واللزوجة للسريان تنتهي بسرعة، كما يحدث نفس الموقف في شبكة من الشعيرات. لاحظ، أيضاً، أن تبادل الغازات لا بد من أن يحدث في مكانين مختلفين: الخياشيم والأنسجة، وفي كلتا الحالتين يحدث التبادل فقط عند مرور الدم في الشعيرات، وبذلك يفقد الدم أثناء مروره بالخياشيم الضغط الذي يمكن أن يوزعه بسرعة على الأنسجة. ومن جهة أخرى، فعند مرور الدم في شعيرات الأنسجة، فإنه يفقد الضغط الذي كان يمكن أن يدفعه



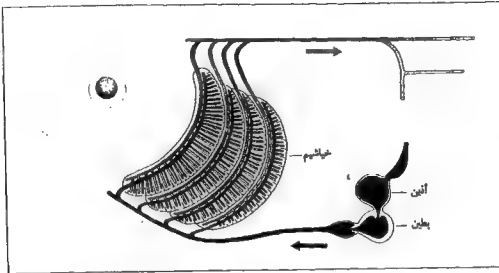
الشكل (٢٣-٣): الجهاز الدوري في الأسكويد. تضخ القلوب الخشيمية الدم الفقير في الأوكسجين (اللون الأسود) إلى الخياشيم حيث يحدث تبادل الغازات. يضخ القلب الجسمي الدم الغني بالأوكسجين (اللون الفاتح) لجميع أجزاء الجسم.

بسرعة إلى الخياشيم. ويتواءم الجهاز الدوري للأسكويد ذو القلوب المنفصلة مع تلك المشكلة جيداً.

ومن الجدير بالملاحظة هنا أن الجهاز الدوري المقفل بالقلوب المنفصلة موجود أيضاً في الطيور والثدييات، ولكنه مع وجود المضختين مع بعضهما البعض، فأحد نصفي القلب في الطيور أو الثدييات يضخ الدم إلى الأنسجة. ولا علاقة لنشوء مضخات منفصلة في تلك الحيوانات بذلك الموجود في الأسكويد.

#### ٢٣-٥. مضخة واحدة: السمك SIMPLE PUMP: THE FISH

في الحقيقة، كانت الفقاريات الأولى بها مضخة واحدة فقط. وبقي هذا النظام مستمراً في الأسماك الحديثة. فالدم المتجمع من كل جسم السمكة يدخل في غرفة ذات جدار دقيق هي الأذين (Atrium). وأثناء راحة القلب، يمر الدم خلال صمام إلى البطين



الشكل (٢٣-٤): الجهاز الدوري في سمكة. يضغط الدم الفقير في الأوكسجين (اللون الفاتح) بقوة إلى الخياشيم، ويبقى قليل من الضغط لتحريك الدم الغني بالأوكسجين (اللون الفاتح) إلى بقية أجزاء الجسم.

(Ventricle) ذو الجدار السميك العضلي. ويدفع الانقباض الشديد للبطين الدم إلى شبكة من الشعيرات موجودة في الخياشيم، وهنا يحدث عملية تبادل الغازات. ومن الخياشيم، يمر الدم إلى شبكات عديدة من الشعيرات موجودة في باقي جسم السمكة، حيث يحدث تبادل الغازات مع الأنسجة، ثم يعود الدم إلى القلب. والجهاز مقفل حيث أن الدم يكون موجوداً داخل أوعية طوال الدورة بأكملها (الشكل ٢٣-٤). والجهاز الدوري في الأسماك، والذي يبدو مناسباً لاحتياجاتها، ليس كفاءة بما فيه كفاية. وكما ذكر من قبل، يوجد انخفاض واضح في الضغط عندما يسير الدم خلال شبكة الشعيرات. وفي الأسماك، بعد مرور الدم في الخياشيم، لا ينتقل بقوة عن طريق قوة ضربات القلب.

### ٢٣-٦. ثلاث غرف: الضفدعة والسحلية:

#### THREE CHAMBERS: THE FROG AND THE LIZARD

الوضع في هذه الحالة أفضل في قلب الضفدعة، إذ يتكون القلب فيها من ثلاث غرف رئيسية: أذين وبطين واحد. فالأذين الأيمن يستقبل الدم الفقير في الأوكسجين من الأوعية الدموية (الأوردة Veins) الآتية من الأنسجة والأجهزة المختلفة في جسم

الضفدعة. وينقل الدم من الرئتين الغني بالأوكسجين إلى الأذنين الأيسر المنفصل، ويمر الدم من الأذنين إلى بطين واحد (شكل ٢٣-٥). ويدفع إنقباض البطين الدم إلى وعاء سرعان ما ينقسم إلى فرع أيمن وآخر أيسر، وكل من هذين الفرعين سرعان ما ينقسم ثانية إلى ثلاثة شرايين (Arteries) رئيسية، وتحمل الشرايين الأمامية الدم إلى الرأس والمخ في الضفدعة، وتحمل الشرايين الوسطى (وهي الأقواس التقسيمية) الدم إلى الأنسجة الداخلية والأجهزة في بقية أجزاء الجسم، وتحمل الشرايين الخلفية الدم إلى الجلد والرئتين.

ومن الهولة الأولى، قد يبدو أنه مهما كانت الميزة المتحصل عليها من رجوع الدم الفقير في الأوكسجين إلى أحد أجزاء القلب والدم الغني بالأوكسجين إلى جزء آخر، فإن تلك الميزة قد تفقد عند مزج النوعين من الدم في بطين واحد، وهذه إلى حد ما حقيقة. وعلى أية حال، فالبطين مقسم جزئياً إلى غرف ضيقة والتي يبدو أنها تقلل من مزج النوعين من الدم. وعند إنقباض البطين، فالدم الفقير في الأوكسجين ينحرف إلى الشرايين الذاهيين إلى الجلد والرئتين، وهنا يمتص الدم مدداً طازجاً من الأوكسجين، يذهب الدم الغني بالأوكسجين من الأذنين الأيسر، وهو نقي نسبياً، إلى الشرايين الذاهبة إلى المخ. وفقط الدم الذاهب إلى الأقواس التقسيمية والمؤدية إلى بقية أجزاء جسم الضفدعة يكون ممزوجاً كلية، ولكن مع هذا فإنه يحتوي على أوكسجين كاف لأمداد الأجهزة التي يحمل إليها باحتياجاتها منه.

لاحظ أن المشكلة الناجمة عن إنخفاض الضغط في الشعيرات قد تم حلها بنظام الجهاز الدوري في الضفدعة، فكل أجهزة تبادل الغازات والأنسجة الدخلية في الجسم تستقبل الدم تحت ضغط كامل بسبب إنقباض البطين.

ويوجد في الزواحف محور أكثر في القلب، ففي السحلية، يوجد حاجز (Septum) عضلي يقسم البطين جزئياً (الشكل ٢٣-٥). فعند إنقباض البطين، تقفل فتحة هذا الحاجز وعندئذ يكون البطن مقسماً كليةً إلى غرفتين منفصلتين، يمنع هذا امتزاج النوعين من الدم. ويضخ النصف الأيسر للبطين الدم الغني بالأوكسجين (الذي وصله من الأذنين الأيسر) إلى الجسم، أما عن النصف الأيمن للبطين فهو يضخ الدم الفقير في الأوكسجين (والذي وصله من الأذنين الأيمن) إلى الرئتين.



## مسار الدورة في الانسان :

## THE PATHWAY OF CIRCULATIN IN HUMANS

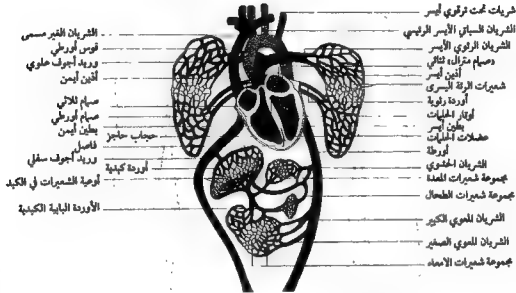
## THE HEART

## ٢٣-٨. القلب :

يقع القلب تقريباً في مركز الفراغ الصدري ويحاط بغشاء لحمايته يسمى التامور (Pericardium) (الشكل ٢٣-٦) . ويدخل الدم الفاسد (الغير مؤكسد) من الجسم إلى الأذين الأيمن ، ومنه يسير عبر الصمام الثلاثي (Tricuspid) إلى البطين الأيمن . والأسم Tricuspid يأتي من وجود ثلاث زوائد نسيجية تحرس الفتحة الموجودة بين الأذين الأيمن والبطين الأيمن . ويقفل إنقباض البطين بعد ذلك الصمام الثلاثي المذكور ويفتح الصمام الرئوي الموجود عند مدخل الشريان الرئوي (Pulmonary Artery) ويدخل الدم الشريان الرئوي ، الذي يتفرع إلى فرع أيمن وآخر أيسر والذين يؤديان إلى الرئة اليمنى والرئة اليسرى . على التوالي . وتتفرع تلك الشرايين ثم تتفرع ثانية لتكون الشرايين الدقيقة (Arterioles) والتي تغذي شبكة الشعيرات الرئوية بالدم . وهنا يترك الدم ثاني أكسيد الكربون ويأخذ مددا طازجا من الأوكسجين . ويتم صرف الدم الموجود في شبكة الشعيرات الرئوية عن طريق أورده دقيقة Venules والتي تعمل كروافد للأوردة الرئوية (Pulmonary Veins) . وتحمل أربعة عروق رئوية (إثنان من كل رئة) الدم المؤكسد إلى الأذين الأيسر للقلب ، وهذا يكمل الجزء من الدورة الدموية المعروفة باسم الجهاز الرئوي (Pulmonary system).

ويمر الدم من الأذين الأيسر خلال الصمام الثنائي (Bicuspid valve) إلى البطين الأيسر . وانقباض البطين يقفل الصمام الثنائي المذكور ويفتح الصمام الأورطي الموجود عند مدخل الأورطة (Aorta) . وتوجد أول الفروع الأورطية خلف الصمام الأورطي مباشرة . وتؤدي فتحان إلى الشريائين التاجيين الأيمن والأيسر (Coronary Arteries) والذين يمدان القلب نفسه بالدم .

ولو أن هذه الشرايين التاجية تنشأ من الأورطة إلا أن الأورطة ما يزال داخل كتلة القلب ، وتمر الشرايين التاجية مباشرة للخارج على سطح القلب وتمتد لأسفل فوقة . وتؤدي الشرايين التاجية إلى شرايين أصغر والتي بدورها تغذي شبكة من الشعيرات بالدم والتي تخترق كل جزء من القلب ، وتصرف هذه الشعيرات ما بها في أوردة دقيقة



الشكل (٢٣-٦): قلب الانسان، منظر تخطيطي لممرات الدم خلال الرئتين والأجهزة الداخلية. الدم المؤكسد يشاهد باللون الفاتح، والفاقد باللون القاتم. لاحظ أن الدم الخارج من المعدة والطحال والأمعاء يمر خلال الكبد قبل رجوعه الى القلب. هنا تلتقط المواد الضارة أو الزائدة من تلك الأجهزة وتستبعد.

والتي تؤدي إلى وريدين تاجيين يفرغان ما بهما في الأذين الأيمن. ويعرف هذا الجزء من الدورة الدموية بالجهاز التاجي (Coronal system).

يمكن معرفة أهمية هذا الجهاز التاجي من حقيقة أن عضلة القلب لا بد من إمدادها باستمرار بالأكسجين كي تستمر في النبض. وأي شيء يتدخل في العمل المتقن للجهاز التاجي يكون له تأثيرات فائقة وأحياناً مميتة على الكائن. ولسوء الحظ، فإن الجهاز التاجي يكون على الأخص عرضة للتلف وعدم القدرة على العمل. وتخرج الشرايين التاجية عند نقطة أعلى ضغط للدم في الدورة الدموية. والضغط المرتفع المستمر والذي يمكن أن يتعرض له تلك الشرايين التاجية تسبب كلها تلفاً مبكراً لتلك الأوعية. وقد يأخذ هذا التلف شكل فقد في مرونة جدران الشرايين، التي تقلل من كمية الدم التي يمكنها أن تمر خلال الشرايين التاجية وبالتالي تنهى المدد الأوكسجيني للقلب. وكثيراً ما تتجمع رواسب دهنية على الجدار الداخلي لتلك الشرايين التاجية، فتقلل من اتساعها وبالتالي من الدم الذي يمكنها أن تحمله. وفي كلتا الحالتين، فإن المدد الأوكسجيني



للقلب قد لا يكون كافيا في وقت الشدة، ويتج عن ذلك الأعراض المؤلمة المعروفة بالذبحة الصدرية (Angina pectoris).

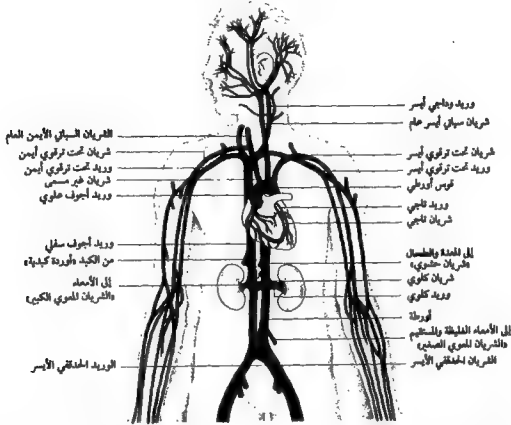
وقد تؤدي الرواسب الدهنية في شريان تاجي أو فرع منه إلى تكون الجلطات الدموية، وتوقف هذه الكتل الصلبة سير الدم في الوعاء وشبكة الشعيرات التي تغذيها. وتسمى هذه الظاهرة بالانسداد التاجي (Coronary Occlusion)، أو الذبحة القلبية. ويموت هذا الجزء من القلب الذي ينقطع عنه الدم بسرعة بسبب حرمانه من الأوكسجين، وإذا كان هذا الجزء من القلب ليس كبيرا، فيمكن للأجزاء الباقية من القلب، بمرور الوقت، تعويض الضرر الناتج. وفي أغلب الأحوال، على أية حال، يفشل القلب ويتولد ذلك الموت. ونحو ٣٨٪ من جميع الوفيات في الولايات المتحدة الأمريكية في عام ١٩٧٦ م كان بسبب أمراض القلب.

## ٢٣-٩. الأوعية الدموية الجهازية THE SYSTEMIC BLOOD VESSELS

يطلق على باقي الجهاز الدوري في الإنسان بالجهاز الجهازية أو الجسمي، ويوضح الشكل (٢٣-٧) مسار الفروع الرئيسية لهذا الجهاز. ويمر الدم من الأورطة إلى الشرايين الرئيسية التي تؤدي إلى كل أجزاء الجسم. ويتحرك الدم بسبب القوة المتسببة عن انقباض الأذين الأيسر. تنتقل موجة الدم التي تحدث عند كل انقباض خلال الجدر العضلية المرنة للجهاز الشرياني بأكمله، والتي يمكن اكتشافها كنقبض (Pulse)، حتى أثناء اللحظات التي يرتاح فيها القلب (الدياستول) يوجد بدون شك ضغط في الجهاز الشرياني، يزداد الضغط عند انقباض القلب (سيستول).

واختبار ضغط الدم هو عملية اكلينيكية عادية، ويعبر عن هذا الضغط ككسر، مثل ٨٠/١٢٠، وأرقام البسط في الكسر تمثل الضغط في الدم الشرياني عند السيستول (انقباض القلب)، ووحدة القياس تسمى تور (Torr). وفي هذا المثال فإن الضغط يعادل ذلك الذي يعطيه عمود زئبق ارتفاعه ١٢٠ ملليمتر، ويمثل المقام الضغط أثناء الدياستول (عند إفراج القلب). ولو أن ضغط الدم يختلف بكثرة في حالات معينة في الأوقات المختلفة، إلا أن الضغط المرتفع المستمر ربما يكون علامة أو سبب العديد من الأمراض.

وعند جرح أي شريان، يخرج الدم باندفاع بسبب الضغط المتسبب عن البطين



الشكل (٢٣-٧): الأوعية الدموية الرئيسية في الإنسان. الشرايين ترى باللون الفاتح ، الأوردة باللون الغامق.

الأيسر، وقد يحدث نزيف حاد. ولحسن الحظ، يمكن للشرايين أن تبقى عميقة بعض الشيء في أنسجة الجسم أكثر من الأوردة، وبذلك ليس من السهولة أن يصيبها الضرر. وإذا ما حدث نزيف حاد، على أية حال، فلا بد من ممارسة ضغط على الجانب المقطوع الأقرب إلى القلب.

## THE CAPILLARIES

## ٢٣-١٠. الشعيرات الدموية

إن ضغط الدم الشرياني يتشتت كثيرا بمجرد دخول الدم إلى الشعيرات. والشعيرات أوعية دقيقة جدا ويبلغ قطرها نحو قطر خلية دموية حمراء (٥, ٧ ميكرون)، ولذلك فلا بد لتلك الكرات الدموية أن تمر خلال الشعيرة في صف واحد. ولو أن قطر الشعيرة صغير جدا، إلا أن عدد الشعيرات التي تخرج من شريان واحد يكون كبيرا بما

فيه الكفاية لدرجة أن مساحة المقطع العرضي المهيا لسريان الدم يزداد، ولقد قدر أنه يوجد نحو ٦٠,٠٠٠ ميل من الشعيرات الدموية داخل جسم الانسان البالغ.

وتتكون جدر الشعيرات من طبقة واحدة من الخلايا الطلائية، وخلال تلك الجدر يتم تبادل المواد بين الدم وبين الأنسجة. ولو أن شبكات الشعيرات غير ظاهرة كالقلب والأوعية الرئيسية، إلا أنه في تلك الشبكات تحدث وظائف تبادل الجهاز الدوري. وبمعنى أصح، فالقلب والأوعية الدموية الرئيسية ماهي إلا أجزاء مساعدة في الجهاز الدوري، إذ أنها ببساطة تقوم بامداد الدم وكذلك إبعاد الدم من الشبكة الهائلة للشعيرات.

ولقد قدر أن مساحة السطح الكلي المطلوب للتبادل في شبكات الشعيرات تعادل ٨٠٠-١٠٠٠ متر مربع (وهي مساحة أكبر من ثلاثة ملاعب تنس مزدوجة)، وعلاوة

الشكل ٢٣-٨. توزيع الدم في جسم الانسان عند الراحة وأثناء التدريب الشاق. لاحظ الزيادة في ورود الدم إلى الأجهزة العاملة (المضد الهيكلي والقلب). وتساعد الزيادة في امدادات الدم إلى الجلد في تشتيت (تبريد) الحرارة الناتجة من العضلات. لاحظ أيضا أن امدادات الدم إلى المخ تبقى ثابتة. ويزداد سريان الدم أثناء التدريبات بسبب زيادة سرعة ضربات القلب وزيادة حجم الدم الذي يضخه القلب في كل ضربة.

### سريان الدم / مل دقيقة

الجهاز	عند الراحة	أثناء التدريبات الشاقة
القلب	٢٥٠	٧٥٠
الكليتين	١٢٠٠	٦٠٠
العضلات الهيكلية	١٠٠٠	١٢,٥٠٠
الجلد	٤٠٠	١٩٠٠
الأحشاء	١٤٠٠	٦٠٠
المخ	٧٥٠	٧٥٠
غير ذلك	٦٠٠	٤٠٠
المجموع	٥٦٠٠	١٧,٥٠٠

على هذا الطول وتلك المساحة المذهلة، فإن شبكات الشعيرات (أو الأسرة Beds) كما يطلق عليها دائما) تشغل في جسم الانسان حجما كبيرا. وفي الحقيقة، فإن الحجم الكمي يعادل تقريبا نفس حجم الدم (نحو ٥ لترات) في الجسم. لذلك، فإنه إذا كان لزاما أن يمتليء القلب والأوعية الرئيسية بالدم في جميع الأوقات، فانه من الواضح أن جميع الشعيرات لا يمكنها أن تمتليء فوراً، وهذه في الواقع هي الحقيقة. إذ توجد إعادة توجيه مستمر لسير الدم من جهاز إلى آخر طبقا للاحتياجات المتغيرة للجسم. وأثناء التدريب الشاق، على سبيل المثال، فإن أسرة - Beds الشعيرات في العضلات الهيكلية تفتح على حساب الشعيرات الموجودة في الأحشاء (الشكل ٣٢-٨)، والعكس صحيح بعد وجبة دسمة.

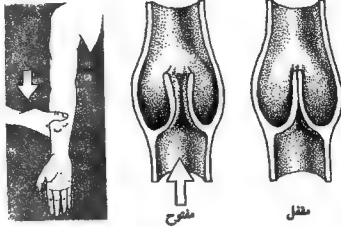
### ٢٣-١١. عودة الدم إلى القلب :

#### RETURN OF BLOOD TO THE HEART

عند ترك الدم للشعيرات ودخوله في الأورطة، يوجد ضغط بسيط ليدفعه للأمام. فالدم الموجود في الأوردة الموجودة تحت القلب يساعد في العودة إلى القلب المضخة العضلية (Muscle Pump)، وهذا ببساطة هو التأثير الانقباضي (Squeezing) الذي تقوم به العضلات النشطة على الأورطة الجارية بداخلها. وطبعاً، هذا التأثير الانقباضي يكون عديم الفائدة إذا لم توجد بعض الوسائل لتأكيد سير الدم في اتجاه واحد، وهذه الوسائل عبارة عن جهاز من الصمامات تسمح للدم الوريدي بالسير تجاه القلب ومنعه من السير إلى الخلف. ويمكنك القيام بتجربة تلك الصمامات بنفسك بضربك بثبات الأوردة القريبة من السطح الداخلي لجبهتك. وإذا ما ضربت بعيداً عن القلب، فانك ستدفع الدم إلى الخلف ضد الصمامات. عندئذ ستقفّل الصمامات ويظهر ورم عند تلك النقطة (الشكل ٢٣-٩). (وجدر الأوردة رقيقة جداً ومرونة الحركة).

ويمكن توضيح أهمية مضخة العضلات عند حدوث الإغماء لجندي بعد وقوفه انتباه لمدة طويلة من الوقت. وفقد الاحساس عند الجندي (المتسبب في اغمائه) كان نتيجة عدم إمدادة الكافي بالدم (وبالتالي الأوكسجين) الواصل إلى المخ. وينشأ ذلك بسبب التجمع التدريجي للدم في الأرجل نتيجة لعدم تحرك عضلات الرجل. والإغماء هو

شكل (٢٣-٩): توضيح  
الصمامات في أوردة اللراع  
دفع الدم للخلف ضد صمام  
مقفل يسبب اتبعاج الوريد  
عند هذا المكان .



ميكانيكية جيدة للحماية في تلك الحالات . ويتحرك الجسم من الوضع الرأسي إلى الوضع الأفقى ، يصل القلب إلى نفس مستوى الأرجل ، ولا يحتاج دم الأرجل عندئذ للرجوع عدة أقدام ضد الجاذبية ، وسرعان ما تعود الدورة الدموية ثانية إلى حالتها الطبيعية . والاغماء محتمل الحدوث بين المجندين الجدد أكثر من المجندين القدامى ، فالمجندين القدامى يعلمون أن ضم الركبتين قليلا وتلين عضلات سانة الرجل بطريقة غير ظاهرة يمنع الاغماء ، وتحافظ هذه الحركات على بقاء سريان الدم الوريدي للخلف متجها إلى القلب .

عرض بناء الطائرات السريعة جدا (بها في ذلك كبسولات الفضاء) الانسان للعديد من المشاكل الفسيولوجية للموجودين في تلك الطائرات أو الكبسولة . ومن تلك المشاكل قوة الجاذبية (أو "G") التي تشد السابح في الفضاء أو عند ترك أو الدخول في الهواء الجوى . ويمكن لقوى الجاذبية هذه عرقلة عودة الدم من الجزء السفلي للجسم الى القلب وتسبب الاغماء أو فقد الرؤية (Blackout) في وقت حرج . وأمكن حل هذه المشكلة باختراع ملابس ضد الجاذبية ، إذ تملأ جدر تلك الملابس بهواء مضغوط عندما يبدأ تكون ظاهرة الجاذبية . والضغط الملقى على الجسم (وبالتالي على الأوردة الموجودة غالبا قرب السطح) تدفع الدم للخلف إلى القلب بعكس قوى الجاذبية .

ويكون سريان الدم متعادلا بسبب القوى المتواضعة المستولة عن وجود الدم في الأوردة . ويترك الدم وريدا مقطوعاً في حالة تيار ثابت ، ولهذا السبب ولأن الأوردة توجد قرب السطح ، فيمكن بسهولة اكتشاف أي نزيف . ويمكن إجراء ذلك على أية حال بالضغط على جانب القطع بعيدا عن القلب .

ومن الأخطاء العامة الاعتقاد بأن الشرايين هي الأوعية الدموية التي تحمل الدم المؤكسد (الأحمر الفاتح) والأوردة هي الأوعية التي تحمل الدم الفاسد (الغير مؤكسد) (الأحمر الفاتم). ولو أن هذه هي الحالة العادية إلا أنه يوجد مثال واحد شاذ عند ذلك في الانسان. هل يمكنك التفكير في كنه هذا المثال الشاذ؟ فالشرايين يجب تبعاً لذلك أن تسمى بتلك الأوعية التي تحمل الدم بعيداً عن القلب، الأوردة هي تلك الأوعية التي تحمل الدم تجاه القلب.

### THE COMPONENTS OF BLOOD

### مكونات الدم

إن الوسط الناقل في الجهاز الدوري هو الدم. ولا ينقل الدم الأوكسجين وثنائي أكسيد الكربون فقط إلى ومن الأنسجة والرئتين، ولكنه يحمل أيضاً مواداً أخرى خلال الجسم، وهذه المواد هي الجزيئات الغذائية (مثل الجلوكوز والأحماض الأمينية) وفضلات التمثيل الغذائي (مثل اليوريا) وأيونات الأملاح المختلفة (مثل الصوديوم  $Na^+$ ، الكالسيوم  $Ca^{++}$ ، الكلوريد  $Cl^-$  والبيكربونات  $HCO_3^-$  والمهرمونات. ويعمل الدم كذلك على توزيع الحرارة في الجسم. وزيادة على وظيفته في حمل المواد، يلعب الدم دوراً نشطاً في مقاومة مسببات الأمراض الضارة (مثل بعض البكتيريا) والتي تتمكن من الدخول إلى الجسم.

ويكون الدم نحو ٨٪ من وزن الجسم، فالرجل الذي وزنه نحو ١٥٠ رطلاً (نحو ٧٠ كيلو جرام) يمثل الدم به حجم ٤، ٥ من اللترات. ولو أنه توجد الآن طرق معقدة لتقييم هذه القيمة، فالطرق الحديثة تعطي نفس النتائج التي تحصل عليها عام ١٨٥٦م بواسطة عالم الفسيولوجيا العظيم بيشوف (T.L.W. Bischoff). فقد أخذ بيشوف طريقاً سهلاً لحل مشكلة معرفة كمية الدم الموجودة في الانسان: وذلك بالوزن الدقيق لمجرم قبل وبعد إعدامه بالمقصلة.

### THE BLOOD CELLS

### ٢٣-١٢. خلايا الدم

الدم هو نسيج سائل يتكون من خلايا (وأجزاء الخلايا) المعلقة حرة في بيئة مائية هي، البلازما. وتكون الخلايا وأجزاء الخلايا ما يسمى بالعناصر المكونة للدم، وهي كبيرة بما فيه الكفاية (اذ يمكن ملاحظتها تحت الميكروسكوب العادي).

وتوجد ثلاثة أنواع من العناصر المكونة: خلايا الدم الحمراء (Erythrocytes) وخلايا الدم البيضاء (Leucocytes) والصفائح (Thrombocytes) أو (Platelets).

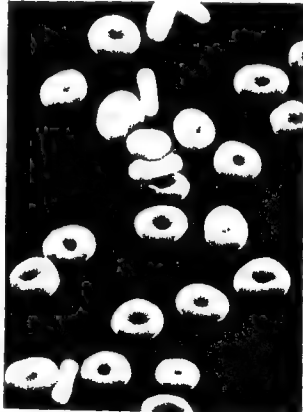
## RED BLOOD CELLS

## خلايا الدم الحمراء

إن خلايا الدم الحمراء (RBC) هي أكثر الأنواع الثلاثة عدداً، ويوجد بالمرأة العادية نحو ٤,٥ مليون من تلك الخلايا في كل ملليمتر مكعب من الدم. وفي الرجال العاديين، يكون العدد أكثر ارتفاعاً: نحو ٥ مليون. وعلى أية حال، يمكن أن تتذبذب هذه القيم في مستوي كبير، معتمدة على عوامل مثل الارتفاعات التي يعيش عندها الفرد (سكان بيرو يعيشون عند إرتفاع ١٨,٠٠٠ قدم ولذلك قد تكون القيمة عندهم نحو ٨,٣ مليون) وكذلك حالة الفرد الصحية.

وخلية الدم الحمراء شكلها مستدير (كالقرص) (الشكل ٢٣-١٠) وقطرها نحو ٧,٥ ميكرون وسمكها عند الحافة ٢ ميكرون، مركز القرص أرفع (١ ميكرون) من

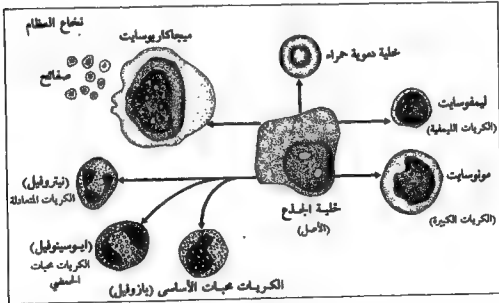
الشكل (٢٣-١٠): خلايا  
الدم الحمراء كما ترى تحت  
الميكروسكوب الإلكتروني  
(المسّاح). لاحظ شكلها  
المحذب من كلا السطحين.  
(بتصريح من دكتور مارتن  
ي. بارميت، جامعة ولاية  
وين-مدرسة الطب مشورة  
أصلاً في طبعة ر.م.  
نالباندان، أشكال  
هيموجلوبين الخلية  
المنجلية، استخدامات  
طبية، تشارلز س. توملس،  
سبرينجفيلد، ٤، ١٩٧١).



الحافّة، يسرع هذا الشكل المقعر من السطحين من عملية تبادل الغازات بين الخلية والبلازما.

وفي الإنسان البالغ، تنتج خلايا RBCs بواسطة خلايا تسمى خلايا الجذع أو الأصل (Stem Cells) (الشكل ٢٣-١١) موجودة في نخاع العظام، وخاصة في الضلوع والاسترنة (عظام الصدر) والفقرات، وعند تكونها في أول الأمر، يكون بالخلايا الحمراء (RBCs) نواة وقليل من الهيموجلوبين. وعلى أية حال كلما نضجت خلية الدم الحمراء، تزداد كمية الهيموجلوبين في الخلية إلى أن تصل الكمية إلى ٢٨٠ مليون جزيء-مكونات نحو ٩٠٪ من الوزن الجاف للخلية، وعند نهاية تلك العملية من تخليق الهيموجلوبين تدفع النواة إلى خارج الخلية.

وعمر الخلايا الدموية الحمراء هو نحو ١٢٠ يوما، وتبتلع الخلايا الهرمة من خلايا الدم الحمراء بواسطة الخلايا الأكلة Phagocytic Cells الموجودة في الكبد وفي الطحال. ويبقى أغلب حديد الهيموجلوبين ليستخدم ثانية، أما باقي جزيئات



الشكل (٢٣-١١): خلايا الدم. تحمل خلايا الدم الحمراء الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون؛ تشارك الصفائح في التجلط، وتساعد بقية الخلايا الجسم في مكافحة العدوى. جميع خلايا الدم تصنع في نخاع العظام، ولو أن الهيموسايتات والمونوسايتات تنتج في أماكن أخرى (مثل العقد الليمفاوية) كذلك.



الهيموجلوبين فتتكسر، ومن نواتج هذه الجزيئات المكسورة - حبيبات الصفراء - التي تفرزها الكبد في الصفراء. ولقد قدرت نحو ٣ مليون خلية دم حمراء ميتة ويكتسها الكبد والطحال كل ثانية.

يعوض الفقد المستمر للخلايا الدموية الحمراء عادة بفعل نخاع العظام. وفي الحقيقة، يمكن لنخاع العظام السليم أن ينتج عند الضرورة خلايا دم حمراء تعادل أربع أضعاف أو أكثر كمية المعدل العادي للخلايا المدمرة. وبذلك فإنه بعد التزيف الحاد (أو بعد التبرع بالدم)، يرجع نخاع العظام بسرعة محتويات الدم من الخلايا الحمراء إلى الحالة الطبيعية.

وتحت بعض الظروف، فإن معدل فقد الخلايا الحمراء يزيد عن معدل تكوين تلك الخلايا، وعندما يحدث ذلك، فإن تركيز الخلايا الدموية الحمراء في الدم ينخفض، وتنتج حالة أنيميا (Anemia).

#### WHITE BLOOD CELLS

#### خلايا الدم البيضاء

خلايا الدم البيضاء (WBCs) أقل بكثير في العدد من الخلايا الحمراء، والمعدل بين النوعين تقريبا ١ : ٧٠٠، ويوجد في الواقع خمسة أنواع واضحة من الخلايا البيضاء في الدم الموجود في الجسم (الشكل ٢٣-١١)، وكلها تحتوي على نواة، ويتراوح حجمها من الكريات البيضاء الليمفاوية (Lymphocytes) والتي ليست بأكبر (١٠ ميكرون) من الـ RBCs، إلى الكريات البيضاء الكبيرة (Monocytes) والتي تبلغ ثلاثة أضعاف حجم الخلايا الليمفاوية (٢٥ ميكرون). ويختلف شكل الخلية البيضاء خاصة أثناء وجودها بداخل الشعيرات.

والوظيفة العامة للخلية البيضاء هي حماية الجسم من الاصابة، ويقوم بذلك النوعان Neutrophils (الخلايا المتعادلة)، Monocytes (الخلايا الكبيرة) بابتلاع وبالتحلل الداخلي للمواد الغريبة (مثل البكتريا) التي تدخل الجسم. وللقيام بتلك الوظيفة، تضغط خلايا الدم البيضاء (Leucocytes) نفسها، استجابة لجاذب كيميائي، خلال جدر الشعيرات في المناطق التي حدث بها تلف للأنسجة. وبمجرد وجودها حرة في النسيج، تبدأ عملية الإلتهاام (Phagocytosis). فالبكتريا، أو المواد الأخرى تحاط

بفراغات، وهذه تتحد مع الليزوسومات (Lysosomes) والتي تدمر إنزيمات الخلايا البكتيرية. والخبيبات الكثيرة في سيتوبلازم الكريات المتعادلة (Neutrophils) هي الليزوسومات. وتنتهي المعركة عادة بموت خلية الدم البيضاء. والقبيح (Pus) ما هو إلا تجمع خلايا الدم البيضاء الميتة ونواتج تلف الأنسجة.

وعمر الخلية المتعادلة قصير نسبياً، حتى في الفرد السليم، وتموت تلك الخلايا في خلال أيام قليلة. وربما تسأل لماذا تموت تلك الخلايا بسرعة إذا لم توجد عدوى نشطة مطلوب منها أن تكافحها. والاجابة هي أن تلك الخلايا دائماً مشغولة في مكافحة البكتيريا والموجودة دائماً في أفواهنا، ومرتاتنا الهوائية، والأمعاء الغليظة وأماكن أخرى. وعموماً، فهذه المكافحة كافية لجعلنا نتغلب على وجود هذه الأنواع من البكتيريا. وعلى أية حال، توجد أنواع من الضغوط قد تقلل وقتنا من مقاومتنا وتسمح لتلك الكائنات بفزو أنسجتنا، والمثل الحزين لذلك هو مرض الأجرانيولوسيتوزس (Agranuc-locytosis). ففي هذا المرض، يتوقف إنتاج خلايا الدم البيضاء. والتعرض الشديد للإشعاع أحد الأسباب لهذا المرض. ويتوقف إنتاج خلايا الدم البيضاء تبدأ البكتريا التي كانت أجسامنا متحكمة فيها في التكاثر. ويعد يومين، تظهر قروح على الفم وفي الأمعاء الغليظة، أو إصابة شديدة بالرئتين، وتنتشر تلك الأعراض بسرعة في جميع أجزاء الجسم إن لم يبدأ العلاج باستخدام المضادات الحيوية بسرعة، وتحدث الوفاة في خلايا أيام قليلة.

ومرض الأجرانيولوسيتوزس هو أحد المخاطر الزائدة في عصرنا النووي، وهو أيضاً مثل جيد لتوضيح أهمية الخلايا البيضاء في الحفاظ على معاهدة صعبة مع الأنواع المختلفة من البكتريا والتي نأويها في داخل أجسامنا.

ولا تقوم الخلايا الليمفاوية بأي ابتلاع للمواد داخل السيتوبلازم (Endocytosis) ولكنها تكافح المرض بمساهماتها في تكوين الأجسام المضادة (Antibodies). والأجسام المضادة هي بروتينات تنتج كلما دخلت جزيئات كبيرة غريبة الجسم، وتسمى تلك الجزيئات الغريبة (Antigens). فـجزيئات البروتين الغريب، وعديد السكريات، والحمض النووي كلها تعمل كأجسام غريبة أي (Antigens).

والعلاقة بين تلك الأجسام الغريبة والأجسام المضادة خاصة جداً. فكل جسم

غريب (أو أنتيجن) ينبه إنتاج جزيئات جسم مضاد قادرة على الاتحاد مباشرة مع هذا الجسم الغريب وليس مع غيرة . فعند اتحاد الجسم المضاد والأنتيجن ، فالمركب الناتج المعقد له خواص مختلفة عن خواص كل من الجسم المضاد والأنتيجن . وعلى سبيل المثال ، فالمركب المعقد الناتج قد يحمل المشكلة ، أو يمكن إحتوائه بطريقة أسهل بالخلايا التي تبتلع المواد داخل السيتوبلازم (Endocytic Cells).

والطفيل الدخيل ، مثل البكتريا أو الفيروس ، له جزيئات كبيرة على سطحه والتي تعتبر غريبة بالنسبة للعائل أي (أنتيجينات) . والقدرة على تخليق الأجسام المضادة ضد هذه الأنتيجينات وبالتالي توقف نشاطها هو سلاح ضد غزو الكائنات المسببة للأمراض . والنتيجة هي ظهور المناعة . والدور الذي تلعبه الخلايا البيضاء الليمفاوية في الاستجابة المناعية سيتم شرحه في الباب التالي.

ونسبة الخلايا المحبة للحمض (Eosinophils) ، والمحبة للأساس (Basophils) في الدم قليلة جدا في العادة ، ووظيفتها غير مفهومة تماما حتى الآن ، ولو أنه يوجد دليل على أن كلا منهما يلعب دورا في مقاومة المرض . فيرتفع عدد محبات الحمض كثيرا في بعض الأمراض ، وخاصة الأمراض المسببة عن الديدان الطفيلية . ويزداد كذلك عدد خلايا محبات الأساس أثناء الاصابات . وعند ترك محبات الأساس للدم فانها تتحول إلى خلايا سارية (Mast Cells) ، وتنتج تلك الأخيرة في موقع الإصابة مادة الهستامين والذي يزيد من سير الدم في المنطقة . وتلعب الخلايا المذكورة (Mast Cells) كذلك دورا هاما في بعض أمراض الحساسية ، مثل حمى القش (Hay fever) وأنواع الحساسية الأخرى الناتجة عن لدغ الحشرات .

ويتم صنع كل خلايا الدم البيضاء في نخاع العظام ، ونادرا ما تصبح خلايا رائدة سرطانية ، وكنتيجة لذلك ، فإن عدد نوع واحد من الكريات البيضاء يصبح أكبر بكثير عن المعتاد ، وهي حالة تعرف بسرطان الدم (Leukemia) ، ويتبع ذلك أنواع من الأعراض الضارة (ومنها أنيميا حادة) وفي بعض أشكال المرض يمكن للعناية الطبية الإبطاء من تفاقم الأعراض وإطالة حياة المريض إلى عدة سنوات .

#### PLATELETS

#### الصفائح

الصفائح هي بقايا خلايا ناتجة عن خلايا كبيرة (ميغاكاريوسايتات -

(Megakaryocytes) في نخاع العظام . والصفائح شكلها كالقرص وأصغر كثيرا (٢ ميكرون) من خلايا الدم الحمراء . ويوجد عادة ما بين ١٥٠,٠٠٠ إلى ٤٠٠,٠٠٠ صفيحة في كل ملليمتر مكعب من الدم . والصفائح هامة في عملية تجلط الدم .

## THE PLASMA

## ٢٣-١٣ . البلازما

يسمى السائل الذي تعلق فيه خلايا الدم بالبلازما والذي يكون لونه كلون القش . والمكونات الأساسية للبلازما هي الماء (الشكل ٢٣-١٢) المذاب فيه مجموعة كبيرة مختلفة من الجزيئات والأيونات ، وهذه تضم الجلوكوز وهو المصدر الأساسي للطاقة لخلايا أجسامنا ، والأحماض الأمينية . وبعد وجبة غنية بالدهون ، تشاهد حينئذ الدهن محمولة في البلازما . وإضافة إلى الجزيئات الغذائية ، توجد منتجات الفضلات الناتجة عن التمثيل الغذائي . وتوجد أيضا الفيتامينات والهرمونات في الدم ، كما توجد بكثرة أيونات الصوديوم والكلوريدات . وأغلب تلك المواد تكون في حالة عبور في الدم ، أي أنها محمولة من مكان إضافتها للدم (منبع Source) إلى مكان إبعادها عن الدم (حوض Sink) . والنايع تشمل أعضاء التبادل ، كالأمعاء وأماكن الامدادات الاحتياطية في الجسم . والكبد على سبيل المثال ، يخزن عددا من المواد مثل الجلوكوز ونوعين من الفيتامينات ، وذلك لأفرازها في الدم عند الحاجة إليها (أي بين الوجبات) . وتعمل كل خلية في الجسم كحوض لمواد خاصة . علاوة على ذلك ، فأعضاء التبادل ، مثل الكليتين والرئتين والجلد ، تبعد المواد من الدم للتخلص منها في البيئة الخارجية . الشكل ٢٣-١٢ . التركيب الكيميائي لبلازما الدم .

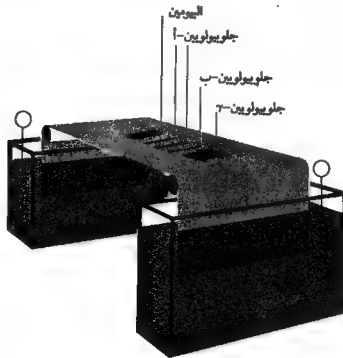
المكونات	النسبة المئوية
يد $H_2O$	٩٠
أملاح غير عضوية	أقل من ١
بروتينات رئيسية	* ٧
مواد أخرى (غذاء ، فضلات ، هرمونات) وغيرها	٢

\* البوتين المصل ٤٪ ، جلوبيولين المصل ٢,٧٪ ، فبرينوجين ٠,٣٪ .

ويتكون ٧٪ من البلازما من جزيئات بروتين، وتضم هذه الفبرينوجين (Fibrinogen) وهو مركب هام لعملية التجلط. فبعد سحب الدم من وريد السباح له بالتجلط، تنكمش الجلطة ببطء، ويعملها هذا ينضغط منها سائل رائق هو المصل (Serum). وهذا المصل ماهر إلا بلازما دم بدون فبرينوجين.

وتوجد طريقة سهلة لفصل البروتينات المختلفة الباقية في المصل وهي طريقة الحمل الكهربائي (Electrophoresis)، فتوضع نقطة من المصل على لوح رقيق من مادة دعامية (الورق يعتبر مادة دعامية جيدة) والذي يكون قد سبق غمره في محلول قلوي ضعيف، ومحلول ملح مخفف. وتحت هذه الظروف تشحن كل بروتينات المصل سلبيا، ولكن يشحن بعضها أقوى من غيرها. ويمرور تيار مباشر خلال الورقة، وشكرا لتوصيل المحلول الملحي والذي به رطبت الورقة، تتحرك بروتينات المصل تجاه القطب الموجب (الشكل ٢٣-١٣). وتكون هجرة الشحنة السالبة الأقوى على بروتين معين هي الأسرع. وبعد مدة من الوقت، ينقطع التيار، وتصيب البروتينات لجلعها واضحة (اذ أن أغلبها عديم اللون).

ويظهر فحص لوحة الحمل الكهربائي عددا من الأشرطة (Bands) الواضحة، وكل



الشكل (٢٣-١٣):  
فصل بروتينات المصل  
بالحمل الكهربائي.  
تتحرك جزيئات  
الألبومين بسرعة كبيرة  
بينما يعمل التيار. وإبطا  
البروتينات تحركا هي  
جلوبيولينات جاما.  
وأغلب جلوبيولينات  
جاما هي أجسام مضادة.

شريط يمثل جزيئات بروتين ذات شحنة خاصة، وأوضح تلك الأشرطة وكذلك الشريط الذي يتحرك أقرب إلى القطب الموجب هو الألبومين في الكبد، ويعمل كوسيط لحمل جزيئات كثيرة أصغر في الدم. ولجزيء الألبومين عدد من مواقع الربط الخاصة والتي تربط الأحماض الدهنية وحبوبات الصفراء (أنظر قسم ٢٠-١١) وبعض العقاقير نفسها بها، وتحمل تلك المواد في الدم بهذه الكيفية.

وأشرطة البروتينات الأخرى الموجودة هي جلوبيولينات (Globulins) مختلفة. والذي يهنا هنا هي الجلوبيولينات الأقل شحنة سالبة، وهي الجاما جلوبيولينات، وهي أكثرها عند ظهور إصابة أو مناعة، وذلك لأن الأجسام المضادة، ماهي إلا جاما جلوبيولينات والتي فصلت من دم الكثير من المتطوعين وأعطيت لأشخاص معرضين لأمراض خاصة مثل التهاب الغدة النكفية أو شلل الأطفال. وبهذه الطريقة، يحصل المريض على حماية مؤقتة ضد المرض بسبب وجود الأجسام المضادة.

## FUNCTIONS OF BLOOD

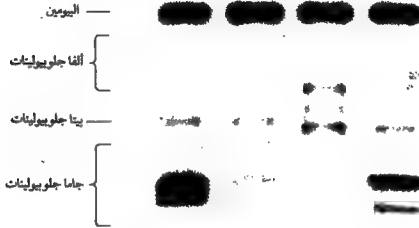
## وظائف الدم

الوظيفتان الرئيسيتان للدم هما: (١) حمل المواد (والحرارة) إلى ومن جميع أنسجة الجسم، (٢) الدفاع عن الجسم ضد الأمراض المعدية. ولقد ذكرت الوظيفة الثانية عند مناقشة خلايا الدم البيضاء وستبحث أكثر في الباب الرابع والعشرين، وتهنا هنا الوظيفة الأولى للدم والتي ترجع إلى قوة الاذابة الكبرى للماء الموجود في البلازما والتي جعلت الدم بيئة فعالة لنقل المواد. فالجلوكوز، والأحماض الأمينية، والأحماض الدهنية قصيرة السلسلة، والفيتامينات، والهرمونات، والفضلات النيتروجينية (مثل اليوريا) وكثير من الأيونات، تنتقل كلها ذائبة في بلازما الدم. و فقط في حالة نقل الغازات لا تستطيع البلازما القيام بتلك الوظيفة وحدها، فخلايا الدم الحمراء تقوم بنقل جميع كميات الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون.

## OXYGEN TRANSPORT

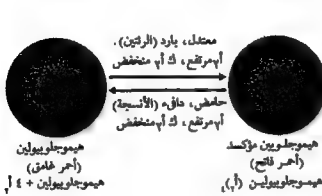
## ٢٣-١٤. نقل الأوكسجين:

تكون الحبيبات الحمراء المسماة بالهيموجلوبين نحو ٩٠٪ من الوزن الجاف لخلية الدم الحمراء. والهيموجلوبين (Hb) بروتين يتكون من أربعة سلاسل عديدة الببتيدات وملتصق بكل سلسلة منها مجموعة هيم (Heme) وفي مركز كل هيم ذرة حديد.



الشكل (٢٣-١٤): نتائج الفصل بواسطة الحمل الكهربائي لبروتينات المصل من أربعة أراتب مختلفة. كل أرتب عقم بشدة بفاكسين يحتوي على بكتريا نيمونيا مقتولة. وهذا سبب الكميات الكبيرة لجلوبيولينات جاما (الواضحة بالذات في أول ورابع عينة) والتي تشاهد في أسفل. أشرطة البروتين في أهل هي اليومين. تشاهد كذلك جلوبيولينات ألفا وبيتا.

ويتحد الأوكسجين بالهيموجلوبين، وتتحد ذرة أوكسجين مع كل مجموعة هيم، وبذلك يزيد وجود الهيموجلوبين في مجرى الدم كثيرا من كمية الأوكسجين والذي يمكن للدم أن يحملها. وعلاقة (ألفه) الهيموجلوبين بالأوكسجين هي، على أية حال، جزء فقط من قصة نقل الأوكسجين. فكثير من المواد تتحد بشدة مع الأوكسجين. والذي يجعل الهيموجلوبين عامل نافع في نقل الأوكسجين هو أنه يترك الأوكسجين ينطلق إلى الأنسجة، وبعبارة أخرى، فإن التفاعل بين الهيموجلوبين والأوكسجين هو تفاعل عكسي حر (الشكل ٢٣-١٥). فتحت تأثير الحرارة، ودرجة الحموضة (pH) وزيادة ضغط الأوكسجين الموجود في شعيرات الرئتين، يتجه التفاعل إلى اليمين ويتحول الهيموجلوبين الأحمر القرمزي في الدم الوريدي إلى اللون الأحمر الفاتح للأوكسي هيموجلوبين في الدم الشرياني. وتحت تأثير الحرارة، ودرجة الحموضة (pH) والضغط المنخفض للأوكسجين الموجود في شعيرات الأنسجة، ينتج التفاعل العكسي ويتخلص الأوكسي هيموجلوبين من الأوكسجين الموجود به (الشكل ٢٣-١٦).



الشكل (٢٣-١٥): التضائل المنعكس بين الأوكسجين والهيموجلوبولين. ويلون الأنفة المختلفة للأوكسجين، يصبح الهيموجلوبولين عديم الفائدة كعامل لحمل الأوكسجين. يحمل الهيموجلوبولين كذلك ثاني أكسيد الكربون من الأنسجة إلى الرئتين.

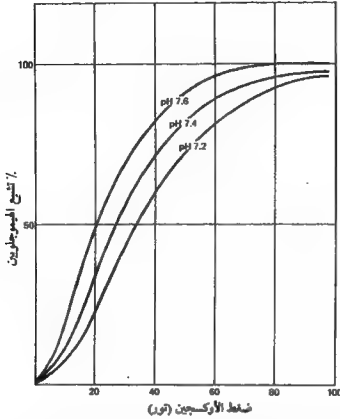
ويحمل اللتر الواحد من الدم الشرياني نحو ٢٠٠ مليلتر من الأوكسجين (من هذه الكمية، تحمل ٣ مليلترات فقط في سائل البلازما، تحمل الكمية الباقية في خلايا الدم الحمراء). وفي الإنسان الساكن (المستريح)، ينطلق ربع الأوكسجين فقط (٥٠ مليلتر) إلى الأنسجة. وتضخ في كل دقيقة نحو ٥ لترات من الدم في الرجل المستريح، وبالتالي فإن نحو ٢٥٠ مليلتر من الأوكسجين تنطلق في الأنسجة في تلك الدقيقة.

وأثناء التدريب الشاق، على أية حال، فإن ثلاثة أرباع الأوكس هيموجلوبولين في الأنسجة ينطلق منه الأوكسجين الموجود به. علاوة على ذلك، فإن قلب الرجل الرياضي المدرب قد يضخ أثناء التدريب خمسة أضعاف الكمية التي يضخها أثناء الراحة. وبذلك تزداد كمية الأوكسجين التي تنطلق إلى الأنسجة إلى نحو ٣٧٥٠ مليلتر (= ٣,٧٥ لتر) في كل دقيقة، أو أكثر ١٥ مرة من الكمية التي تتلقاها الأنسجة أثناء الراحة.

ولا يمكن تحقيق مثل هذا الأداء بدون وجود خلايا الدم الحمراء. ويمكن للتر واحد من البلازما أن يحمل ٣ مليلتر فقط من الأوكسجين، وينطلق نحو ١,٨ مليلتر من هذه الكمية من الأوكسجين الدائب في الأنسجة. وبين الحساب السريع أنه إذا اعتمد الإنسان على البلازما بمفردها لنقل الأوكسجين، فإنه لزاماً عليه أن يضخ ٢٨ ضعف كمية الدم في كل دقيقة، حتى أثناء فترة الراحة، ليفي بمتطلبات الأنسجة.

ويمكن توضيح أهمية الرابطة الضعيفة العكسية الموجودة بين الهيموجلوبولين والأوكسجين جيداً في حالة التسمم بغاز أول أكسيد الكربون إذ أن أول أكسيد الكربون، مثل الأوكسجين، يتحد مع الهيموجلوبولين، ولكن عند إنجاده هذا يمنع





الشكل (٢٣-١٦): التفاعل

المنعكس بين

الهيموجلوبين وسولين

والأوكسجين، درجة

الحموضة (pH) وضغط

الأوكسجين في الرئتين،

٩٥-٩٠ تور، في الأنسجة

الداخلية نحو ٤٠ تور.

لذلك، فإن كمية بسيطة فقط

من الأوكسجين المحمول

بخلايا الدم الحمراء هي التي

تفرغ في الأنسجة. وعموماً،

النشاط الشديد يمكن من

إنزال ضغط الأوكسجين في

المضلات الهيكلية تحت ٤٠

تور، والتي تسبب زيادة كبيرة

في كمية الأوكسجين

التي تطلق. ويسرع

هذا التأثير بالتركيز المرتفع لثاني أكسيد الكربون في العضلات والأنخفاض الناتج من درجة الحموضة ٧,٢، وكلما أنخفض تركيز ك<sup>+</sup> (وبالتالي درجة حموضة أعلى) عند الرئتين يزيد ارتباط الأوكسجين بالهيموجلوبين وبالتالي يساعد في أخذ الأوكسجين.

ويؤثر التغير في درجة الحرارة على ارتباط الأوكسجين بالهيموجلوبين وفي الدفء النسبي للأجهزة الداخلية. ينحرف المنحنى إلى اليمين (مثل منحنى pH ٧,٢ مساعدًا في تفرغ ك<sup>+</sup> وفي البرودة النسبية للرئتين، ينحرف المنحنى إلى اليسار، مساعدًا بذلك في أخذ الأوكسجين.

الهيموجلوبين كذلك من إنحاده مع الأوكسجين. ولا ينطلق أول أكسيد الكربون، على أية حال فوراً من الهيموجلوبين، لذلك إذا ماتعرض شخص إلى أول أكسيد الكربون (كما في جراج مقفل وموتور السيارة في حالة دوران)، يصبح الكثير من الهيموجلوبين أكثر وأكثر غير كفء لنقل الأوكسجين. والألفة بين الهيموجلوبين وبين أول أكسيد الكربون تعادل ٢٣٠ مرة تلك الألفة الموجودة بين الهيموجلوبين والأوكسجين. وعلى ذلك، ففي هواء يحتوي على جزء واحد من الأوكسجين، ٢٣٠ جزء من أول أكسيد الكربون فإن أول أكسيد الكربون يتنافس بنفس المقدار مع الأوكسجين، وفي وقت

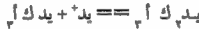
قصر، فإن نصف الهيموجلوبين في مجرى الدم يصبح غير قادر على نقل الأوكسجين. ريانخذ جلد الضحية الذي تسمم بأول أكسيد الكربون اللون الأحمر القرمزي وهو لون الهيموجلوبين عند اتحاده بأول أكسيد الكربون. فقط فإن الابتعاد السريع في الوقت المناسب من جو الوقود واستخدام التنفس الصناعي بواسطة الأوكسجين هو الذي ينقذ حياة الضحية.

### ٢٣-١٥. نقل ثاني أكسيد الكربون CARBON DIOXIDE TRANSPORT

يذوب ثاني أكسيد الكربون في الماء بدرجة أكثر بكثير من ذوبان الأوكسجين، والسبب في ذلك هو أن ثاني أكسيد الكربون يتحد كيميائياً مع الماء مكوناً حمض الكربونيك:



ثم يفصل هذا الحمض إلى أيون الأيدروجين (يد<sup>+</sup>)، أيون بيكربونات:



فاذا ما كان كل ثاني أكسيد الكربون الموجود في دمائنا محمولا في البلازما على تلك الصورة، فإن درجة حموضة الدم (pH) تقل عن مستواها الطبيعي وهو (٧,٤١ pH) إلى نحو (٤,٥ pH)، وهذه الدرجة من الحموضة تكون قاتلة على الفور. وعلى أية حال، فإن نحو ٥-١٠٪ فقط من ثاني أكسيد الكربون الذي تنتجه الأنسجة هو الذي ينتقل في هذا الوضع، ويمكن لخلايا الدم الحمراء أن تقوم بنقل الباقي. ويتحد بالفعل نحو ٢٥٪ من ثاني أكسيد الكربون بالهيموجلوبين الموجود في خلايا الدم الحمراء (RBCs)، مكوناً كاربامينو هيموجلوبين (Carbaminohemoglobin). ولا يتحد ثاني أكسيد الكربون بالهيموجلوبين في نفس المكان من الجزيء الذي يتحد به الأوكسجين، ولكن يزيد انطلاق الأوكسجين من الهيموجلوبين في الأنسجة من قدرة الهيموجلوبين على حمل ثاني أكسيد الكربون. ويحدث نفس الشيء في الرئتين، فأخذ الهيموجلوبين للأوكسجين يزيد من انطلاق ثاني أكسيد الكربون فيه.

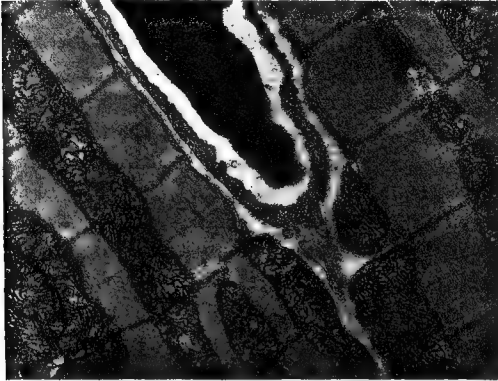
وتساعد خلايا الدم الحمراء في نقل ثاني أكسيد الكربون بطريقة أخرى. فعند دخول ثاني أكسيد الكربون خلية الدم الحمراء، يتحد بعض منه بالماء الموجود في الخلية، مكوناً

حمض الكربونيك. ويسرع هذا التفاعل كثيراً إنزيم الكربونيك أنهيدريز (Carbonic Anhydrase) الموجود في الخلية الدموية الحمراء. (هذا الإنزيم غير موجود في البلازما وبالتالي، كما سنرى، لا يوجد الكثير من حمض الكربونيك في البلازما). وتتحد أيونات الأيدروجين المنطلقة من حمض الكربونيك بعدئذ بجزء البروتين في الهيموجلوبين، وبهذا الاتحاد، فإنها لا تقلل من درجة الحموضة (pH). وتأخذ غالبية الأيونات المتبقية من البيكربونات طريقها بعد ذلك إلى الخارج ثانية وتذهب إلى البلازما. وعند وصول خلايا الدم الحمراء إلى الرئتين، تنعكس هذه التفاعلات وينطلق ثاني أكسيد الكربون إلى هواء الحويصلات. ويُعمل ثلثي ثاني أكسيد الكربون المتقل بواسطة الدم بهذه الكيفية. ويفصل هاتان العمليتان الميكانيكيتان الهامتان اللتين تؤديانها خلايا الدم الحمراء، واللتين تمكن الإنسان من نقل ثاني أكسيد الكربون بسرعة ويأمان من الأنسجة إلى الرئتين.

### ٢٣-١٦. التبادل بين الدم والخلايا

#### EXCHANGES BETWEEN THE BLOOD AND THE CELLS

إن وسط النقل في جسم الإنسان هو الدم، وجهازنا الدوري من النوع المغلق، على أية حال، ويتصل الدم اتصالاً مباشراً بالخلايا، (باستثناء واحد، بالطبع، هو الخلايا الطلائية التي تبطن جدر الشرايين والأوردة وتكون جدر الشعيرات). وإن عدد وتوزيع الشعيرات الدموية يكون بطريقة تجعل من المحتمل عدم وجود أي خلية على مسافة أبعد من ٥٠ ميكرون من الشعيرة (الشكل ٢٣-١٧). ومع هذا، فلا بد للمواد من أن تعبر هذه الفجوة الموجودة بين الدم والخلايا، ويحدث هذا، بالطبع الأكبر، بالانتشار. وعلى أية حال فبعض مكونات الدم تنساب كذلك إلى الخارج من الشعيرات. وعند دخول الدم إلى نهاية الشريان الدقيق للشعيرة الدموية، فهو مازال تحت ضغط (نحو ٣٥ تور) الناتج عن انقباض البطين. ونتيجة لهذا الضغط، يحدث بعض الرشح للدم خلال جدر تلك الشعيرات. وتوجد ثغوب دقيقة بين الخلايا الطلائية المكونة لجدر الشعيرات، ومن خلال هذه الثغوب يحدث رشح الدم. وتلك الثغوب من الصغر بكثير لدرجة لا تستطيع أي عناصر متكونة أن تمر خلالها (فيما عدا عند هجرة خلايا الدم البيضاء). وعلى أية حال، فإن كمية لا بأس بها من الماء وبعض البروتينات الموجودة في

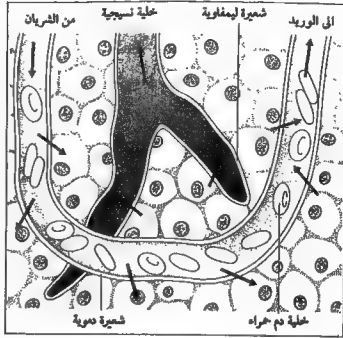


الشكل (٢٣-١٧): شعيرة دموية بين خليتين من عضلات القلب (١٦,٠٠٠ مرة). صفوف الميتوكوندريا (M) يمكن رؤيتها بين الوحدات المتقبضة (F) لاحظ رفع الحلية الطلائية التي تكون جدار الشعيرة الدموية (C). الجسم المشاهد بداخل الشعيرة هو خلية دموية حمراء. (منقولة باذن من كيث ر. بورتير، ماري أ. بونيفيل، مقدمة للتركيب الدقيق للخلايا والأنسجة، الطبعة الرابعة، لي وليميجر فيلادلفيا، ١٩٧٣).

الدم تمر خلال جدر الشعيرات ثم إلى المنطقة المكونة للخلايا، أي فراغ النسيج (الشكل ٢٣-١٨). وهذا السائل، المسمى بالسائل البين فراغي (Interstitial Fluid) ماهو إلا بلازما الدم ناقصا أغلب بروتيناته. وفي فراغ النسيج، تستحم (غمر) الخلايا، ولذلك فأي مواد تكون موجودة في هذا السائل يمكنها المرور إلى داخل الخلايا بالانتشار أو بالنقل النشط. كذلك، أي مواد موجودة بكميات زائدة في الخلايا (مثل ثاني أكسيد الكربون أو الفضلات النيتروجينية) يمكنها الانتشار للخارج في السائل البين فراغي المذكور.

وقرب نهاية الوريد في الشعيرة، يقل ضغط الدم كثيرا (نحو ١٥ تور)، وهنا، يأتي دور قوة أخرى، إذ ولو أن مكونات السائل البين فراغي مشابهة لمكونات بلازما الدم،

الشكل (٢٣-١٨): آلية التبادل بين الدم والخلايا. تغمر الخلايا في السائل البيئي المترشح من الدم. يصد مباشرة إلى الدم بالانتشار في النهاية الوريدية للشعيرة الدموية، ويدخل الباقي إلى شعيرة ليمفاوية، الآن يسمى بالليمف، ويعود عن طريق الجهاز الليمفاوي.



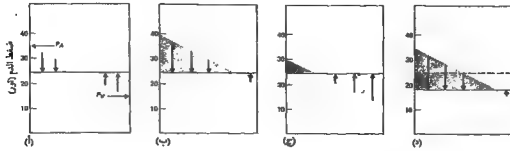
فانه يحتوي على كميات أصغر من البروتينات التي يحتويها بلازما الدم، وهذا يكون الماء في السائل بين الفراغي أكثر منه في بلازما الدم. ولأجل هذا الاختلاف، يتكون الضغط الأسموزي. فالضغط الأسموزي صغير نسبياً (نحو ٢٥ تور) ولكنه أكبر من ضغط الدم عند النهاية الوريدية للشعيرة، ونتيجة لذلك، يدخل السائل ثانية إلى الشعيرة في هذا المكان (الشكل ٢٣-١٩).

وليس من المستغرب أن نعرف أن معظم الشعيرات تنقوس حول فراغ النسيج في شكل حدوة الحصان، وبذلك يمكن للسائل المتكون عند النهاية الشريانية للشعيرة أن ينساب خلال الفراغ النسيجي، الذي يغمر الخلايا، ثم يدخل ثانية نفس الشعيرة عند النهاية الوريدية. وفي حالة عدم وجود هذا النظام، فإن النهاية الوريدية لبعض الشعيرات الأخرى تكون مرجوعة بداخل الفراغ النسيجي نفسه.

#### THE LYMPHATIC SYSTEM

#### ٢٣-١٧. الجهاز الليمفاوي

من ثلث إلى ثلثي البلازما التي تدخل الشعيرات تمر في الفراغ النسيجي، ولو أن أغلب هذه الكمية المذكورة من البلازما تعود إلى نهاية الوريد في الشعيرة، إلا أن البعض لا يفعل ذلك. والكمية الصغيرة المتبقية من السائل تكون على الخصوص غنية

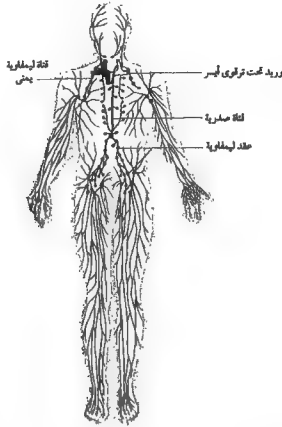


الشكل (٢٣-١٩): علاقات الضغط في الشعيرات.  $PA$  = ضغط الدم عند الهياكل الشريانية للشعيرة،  $PV$  = ضغط الدم عند النهاية الوريدية للشعيرة. الخط الأفقي يمثل الضغط الاسموزي للدم. عندما يكون ضغط الدم أعلى من الضغط الاسموزي، يحدث رشح للسائل البيني. وعندما يقل ضغط الدم عن الضغط الاسموزي، يعاد امتصاص السائل البيني. (أ) الوضع العادي. يتوازن الرشح وإعادة الامتصاص. (ب) نتيجة اتساع الشرايين ( $PV$ ) يزداد ويصبح الفراغ النسيجي محاطاً بالسائل البيني. (ج) نتيجة انقباض الشرايين ( $PA$ ) يقل ويسحب السائل البيني من الفراغ النسيجي. (د) نتيجة نقص تركيز البروتين في الدم (مثل ما يحدث أثناء نقص الغذاء للبروتين طويلاً). بسبب نقص الضغط الاسموزي، يتجمع السائل في فراغ النسيج (ادبها).

في بروتينات المصل الذي يرشح من جدر الشعيرات، ولا ترجع هذه الكمية المذكورة ثانية إلى الشعيرات بالانتشار. ولحسن الحظ، لا يفقد تيار الدم هذا السائل وهذا البروتين فترة طويلة، فالسائل الزائد في الفراغ النسيجي تلتقطه أوعية دقيقة جداً تسمى الشعيرات الليمفاوية. والخلايا التي تكون جدر تلك الأوعية الليمفاوية الدقيقة لا تلتصق جيداً ببعضها البعض، وبذلك تجعل جدر هذه الأوعية مثقبه جداً. وتنشط الخلايا كذلك كثيراً في عمليتي ابتلاع المواد داخل البلازما ( $Endocytosis$ ) وكذلك في طرد المواد خارج البلازما ( $Exocytosis$ ).

وحتى جزيئات البروتين الكبيرة تمر بسهولة من الفراغ النسيجي إلى داخل الشعيرات الليمفاوية [تلتقط الشعيرات الليمفاوية الموجودة في حمائل الأمعاء والتي تسمى أيضاً بالشعيرات اللبنية ( $Lacteals$ ) كذلك حبيبات الدهن] - (انظر قسم ٢٠-٩).

وتؤدي الشعيرات الليمفاوية إلى أوعية أكبر والتي تكون الجهاز الليمفاوي، والأنسياب داخل الأوعية الليمفاوية بطيء نسبياً، ويحدث هذا الانسياب بطريقة مماثلة لما يحدث في الأوردة الدموية. فالنشاط العضلي يضغط على الأوعية الليمفاوية ويعصر السائل،



الشكل (٢٣-٢٠): الجهاز الليمفاوي في الإنسان. أنه يرجع بروتينات بلازمية قيمة للدم ويساعد في مقاومة العدوى.

الذي يسمى الآن بالليمف (Lymph) الذي يسير للأمام ، ويمكن لليمف أن يسير فقط في اتجاه واحد بسبب وجود الصمامات المتعددة .

ويسير كل الليمف المتجمع من كل الجانب اليسر للجسم ، مضافا اليه الليمف المتجمع من القناة الهضمية والجانب الأيمن للجزء الأسفل ، في وعاء ليمفاوي واحد رئيسي ، هو القناة الصدرية (Thoracic Duct) ، وتفرغ تلك القناة نحو ١٠٠ مليلتر من الليمف كل ساعة في الوريد. تحت ترقوى الأيسر (الشكل ٢٣-٢٠) ويتجمع الليمف الناتج في الجانب الأيمن من الرأس ، العرقبة ، الصدر بواسطة القناة الليمفاوية اليمنى ويفرغ محتوياته في الوريد تحت ترقوى الأيمن ، وبهذه الطريقة ، يعود الليمف بمحتوياته من البروتين إلى مجرى الدم .

وقد تحدث أشياء كثيرة تعوق إنتاج أو سريان الليمف ، فالزيادة في ضغط الدم في الشعيرات أو النقص في بروتينات البلازما (والذي قد ينجم عن سوء التغذية لمدة طويلة) ينشأ عنه إنتاج كميات كبيرة غير عادية من الليمف (الشكل ٢٣-١٩) . وقد لا يستطيع

شكل (٢٣-٢١): داء الفيل. إصابة شديدة بالديدان الفلاريا (نيماتودا) أثقلت الأوعية الليمفاوية لرجل واحدة للدرجة أنها لا تستطيع سحب الليمف منها. والادبما الناتجة الحادة وسمك الجلد يسببان زيادة التشوه. تنتقل الديدان من شخص الى آخر بواسطة البعوض.

الجهاز الليمفاوي أن يتعامل مع الليمف المنتج الزائد بكفاءة، ويبدأ الليمف في التجمع في الأنسجة متسببا في تمددها، وتعرف تلك الحالة بالادبما (Edema). وتوجد حالة أخرى من الادبما وهي انسداد الأوعية الليمفاوية. فقد يحدث ذلك في المناطق الاستوائية نتيجة الإصابة بطفيل من الديدان الأسطوانية، هي دودة الفلاريا، وتسبب الادبما المعروفة بكبر بعض أجزاء الجسم كالأرجل والأذرع بشكل واضح ومتضخم، وهي حالة تعرف بداء الفيل (Elephantiasis) (الشكل ٢٣-٢١).

ويوجد مبعثرا عند أماكن مختلفة من الجهاز الليمفاوي (وخاصة في خن الورك، آباط الأذرع، البطن، الذقن) عدة مئات من العقد الليمفاوية (الشكل ٢٣-٢٠)، وتحتوي هذه العقد على فراغات أو تجاويف ينساب فيها الليمف. وتبطن جدر تلك الفراغات بخلايا وظيفتها إبتلاع المواد داخل السيتوبلازم (Endocytic) إذ تأوى بداخلها أية مواد غريبة قد توجد في الليمف، وتحمى هذه الميكانيكية مجرى الدم من غزو البكتريا، وهي من أهم دفاعات الجسم ضد الإصابة بالأمراض. فعند التعرض لاصابة شديدة، قد تضخم العقد الليمفاوية، وينتج عند ذلك الغدد المتضخمة. وتصنع العقد الليمفاوية كذلك الأجسام المضادة والخلايا الليمفاوية والتي تدخل بعد ذلك إلى مجرى الدم عند الأوردة تحت ترقيوة.



## التحكم في الدورة

## CONTROL OF CIRCULATION

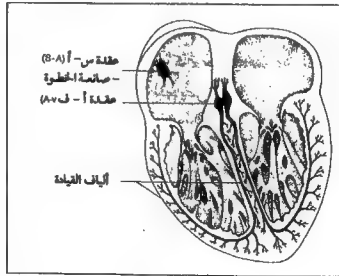
لقد ذكرنا من قبل في هذا الباب أن كمية الدم التي يضخها القلب تزداد مع التدريبات وأن إمدادات الدم في الشعيرات يختلف من وقت لآخر وعلى مدى واسع. وليس من المستغرب أن جهازاً هاما مثل الجهاز الدوري يكون مرناً في عمله لكي يقابل الاحتياجات المتغيرة للجسم، وتنشأ تلك المرونة من جهاز متكامل للتحكم.

## ٢٣-١٨. القلب

## THE HEART

يلعب القلب نفسه دوراً هاماً في تحديد كمية الدم الممكن ضخها في زمن محدد. فإثناء الراحة، ينبض القلب نحو ٧٠ مرة في الدقيقة في الذكر البالغ حيث يضخ نحو ٥ لترات من الدم. ويوجد المنبة الذي يحافظ على هذا النظام بأكمله في القلب نفسه، إذ توجد مغفورة في جدار الأذين الأيمن كتلة من النسيج الخاص من أنسجة القلب تسمى عقدة Sino-atrial (S-A) (شكل ٢٣-٢٢). وهذه العقدة كثيراً ما يطلق عليها اسم صانعة الخطوة Pacemaker في القلب لأنها السبب في حدوث النظام (Rhythm) الأساسي والذي عنده يقوم القلب بنبضاته. وألياف عضلات القلب، مثل كل الخلايا، مشحونة شحناً موجباً على السطح وشحناً سالباً في الداخل. وفي عقدة صانعة الخطوة تنكسر هذه الشحنة على التوالي نحو ٧٠ مرة في الدقيقة، وهذا بدوره، ينبه التنكسر في الشحنة في الألياف العضلية المجاورة للأذين. وتأتي موجة صغيرة من التيار

الشكل (٢٣-٢٢): تشرح صانعة الخطوة نبضات كهربائية تبدأ في انقباض العضل. وصانعات خطوة تعمل بالبطارية تزرع الآن روتينياً في أشخاص ذوي نقص في جهازهم الكهربائي. (S-A) = شرياني-فراضي؛ A-V = شرياني-وريدي



فوق الأذنين، مسببة إنقباضها، وعند وصول هذا التيار إلى منطقة عازلة من النسيج الضام موجودة بين الأذنين والبطينين، تلتقطه العقدة الأذنية - البطينية (A - V)، ويؤدي هذا جهاز من الألياف المتفرعة والتي تحمل التيار إلى جميع أجزاء البطينين واللذين بدورهما ينقبضان بشدة. وتكون كل العملية السابقة مايسمى بالانقباض (Systole) والتي يتبعها فترة إستشفاء حيث يعاد شحن عضلة القلب والعقدة S - A، كما ترغى عضلة القلب ويمتلئ الأذنان أثناء هذه الفترة والمساه (Diastole).

ويمكن إكتشاف النشاط الكهربائي للقلب بوضع أقطاب (Electrodes) على سطح الجسم، وبعد التكبير، يمكن توضيحه على أشعة أنبوبة كاثود (مثل أنبوبة التليفزيون) أو، لأجل تسجيل مستديم، على قطعة ورق مربعات. ويمكننا تحليل مثل هذه الصور الكهروكارديوجرافية (ECGs) في الغالب من امكانية التشخيص الدقيق لمدى تلف القلب بعد أي ذبحة صدرية، وذلك لأن موت جزء من عضلة القلب يمنع التوصيل الكهربائي في هذا الجزء وتغير نتيجة إعاقة البث السلسل لنبضات القلب من ظهور الـ ECG (الشكل ٢٣-٢٢).

وتلف صناعة الخطوة لا ينتج عنها بالضرورة هبوط في القلب. وحتى بدون هذه الصناعة للخطوة، يمكن للبطينين أن يستمرا في ضرباتها، ولو أن تلك الضربات تكون بطيئة. ويوجد على العموم خطر من أن النبضات الناشئة في البطينين قد تصبح غير منتظمة ومتفرقة. وعندما يحدث ذلك، يبدأ البطينان في الانقطاع عن ضخ الدم. وتعرف تلك الحالة بتليف البطينين، ويتبع ذلك الموت بسرعة إلا إذا اتخذت احتياطات لبده الضربات المنتظمة ثانية. وفي الماضي كان هذا يعني فتح الفراغ الصدري وتديلج القلب باليد. وواضح من ذلك أن هذا العمل البطولي كان منصبا فقط على حالات تليف البطينين التي تحدث أثناء اجراء عملية جراحية للمريض.

وتليف البطينين ربما يكون السبب المباشر لموت ٢٥٪ من جميع الحالات، ولو أن معظم الحالات تنشأ تلقائيا في القلوب المصابة، إلا أنه في الصدمات الكهربائية الحادة نوعا قد يحدث مثل هذا التليف البطيئ. ولسوء الحظ، فإن التيار المتغير (٦٠-سيكل) الواسع الانتشار الآن هو على الخصوص فعال من تلك الناحية.

ويمكن الآن إعطاء الشخص الذي يبنو وكأنه معرض لحالة التليف، بسبب ذبحة

صدرية أو لأسباب أخرى، صانع خطوة صناعي، وهو ببساطة جهاز يحدث نبضات منتظمة تنتقل بدورها إلى القلب بواسطة أسلاك دقيقة. وشكرا للمصناعات الدقيقة والبطاريات طويلة العمر، إذ أمكن بذلك وضع أو زرع صانع الخطوة هذا داخل الجسم، قريبا جدا من الجلد حتى يمكن الوصول إليه عن طريق شق صغير إذا ما أردنا إصلاحه.

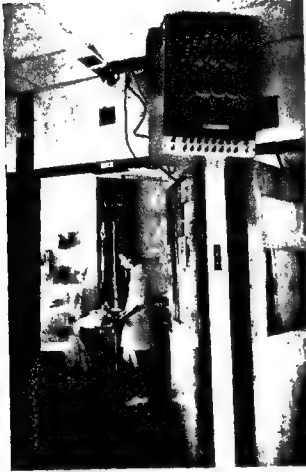
### ٢٣-١٩. التحكم المساعد للقلب AUXILIARY CONTROL OF THE HEART

ولو أن صانع الخطوة هذا هو عماد النبض الرئيسي للقلب، فانه يمكن تعديل معدل وقوة النبض بعوامل أخرى. فيوجد في نخاع (Medulla) المخ مركزان إحتياطيان للتحكم، وهما يبدآن النبض الذي يذهب إلى القلب عن طريق الأعصاب.

وتسبب النبضات الذاخرة إلى القلب عن طريق الأعصاب المسرعة (Accelerator nerves) زيادة في معدل وقوة ضربات القلب وبالتالي زيادة في معدل سريان الدم في الجسم. وتنشأ هذه النبضات في القلب عند تعرض الشخص لبعض الضغوط مثل الخوف أو إجهاد جسماني عنيف. وقد يزداد نبض القلب إلى ١٨٠ نبضة في الدقيقة، وبالتالي، تزداد قوة الانقباض. وقد تزيد الكمية الكلية للدم التي يضخها القلب إلى ٢٥-٣٠ لترا في كل دقيقة. هل لاحظت بدء قلبك في الدق بسرعة عند خوفك؟ فالأعصاب المسرعة هي المسئولة عن ذلك.

ويسرع التدريب الشاق ضربات القلب بطريقتين، فكلما زاد التنفس الخلوي، تزداد كمية ثاني أكسيد الكربون في الدم وهذا ينبه مستقبلات خاصة بثاني أكسيد الكربون موجودة في الشريان السباتي والأورطة (الشكل ٢٣-٧)، وهذه تنقل النبضات إلى النخاع لارسال الإشارة بواسطة الأعصاب المسرعة إلى القلب. علاوة على ذلك، فيزيد النشاط العضلي تسحب مضخة العضل (قسم ٢٣-١١) دماً أكثر إلى الخلف ليذهب إلى الأذين الأيمن من القلب، ويصبح هذا الأذين متملدا بالدم، وبذلك ينبه مستقبلات التمدد الموجودة في جدره، وهذه أيضا، ترسل النبضات إلى النخاع لترسل الإشارة إلى القلب. وبالعامل سوا، فان ميكانيكية هاتين الطريقتين يضمنان بذلك الوفاء بمتطلبات القلب عند الحاجة الزائدة.

ويمجرى عصبان مانعان (Inhibitory) من النخاع إلى القلب، والنبضات الجارية



الشكل (٢٣-٢٣) : النشاط الكهربائي لقلوب ضحيتين من ضحايا الذبحة الصدرية يؤدي باستمرار على شاشة حرف (ت) موضوعة على قمة فوتوجراف. والرسومات الكهربائية القلبية (ECGs) لعدد قد يصل إلى ٦ مرضي يمكن إجراؤها على التوالي في وحده العناية التاجية هذه. علاوة على ذلك، شخص بجائب مشدزين يمكن العمل على بدلتهم انذارا اذا تغير ECG لمريض نذرا بالسوء. تم أخذ الصورة في مركز ليفين (S.A. Levin) للقلب في مستشفى بوترنت برجهام في مدينة بوسطن (بتصريح من جون ويندي).

فيها، وهما العصبان الحائران (Vagus nerves)، تتسبب في إبطاء ضربات القلب. ومستقبلات الضغط موجودة في الأورطة وفي الشرايين السباتية. وعند زيادة ضغط الدم فوق المستويات العادية، ترسل هذه المستقبلات النبضات إلى الخلف للنخاع، وهذه بدورها توصل هذه النبضات خلال الأعصاب الحائرة إلى القلب، وتنتهي بذلك ضربات القلب وضغط الدم. وبذلك فإن الأعصاب الحائرة تعمل ضد الأعصاب المسرعة وتحمي القلب من النشاط الزائد والغير ضروري.

### ٢٣-٢٠. التحكم السطحي للدورة

#### PERIPHERAL CONTROL OF CIRCULATION

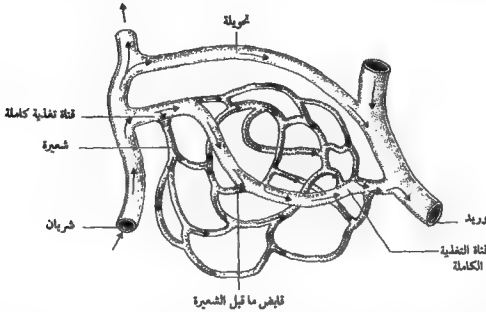
تؤثر الأعصاب كذلك على سريان الدم في داخل الشرايين، فجدر هذه الشرايين عضلية، ويقلل إنقباضها من إتساع الأوعية، وبذلك يزداد ضغط الدم ولكن تقل

سرعة سريان الدم . وانفراج الأوعية له التأثير المضاد على سبيل المثال ، في أوقات الخطر أو أية ضغوط أخرى ، وتنفرج الشرايين التي تغذى العضلات الهيكلية بالدم بينما يقل إتساع الأوعية التي تغذي الأجهزة الهضمية . ويحدث هذا الفعل بمنبهات عصبية وكذلك بالهورمونات ، الأدرينالين ، الذي يفرز داخل الدم نفسه . ومن جهة أخرى ، فإنه بعد وجبة كاملة ، يزداد إمداد الأجهزة الهضمية بالدم على حساب إمداد العضلات الهيكلية .

واكتشفت مواد كيميائية كثيرة في الدم ، بجانب الأدرينالين ، التي تؤثر في إنساع الشرايين وبالتالي في ضغط الدم . فالغدة النخامية (Pituitary gland) والكليتان كلاهما تفرزان موادا تعمل على إنقباض الشرايين وبالتالي رفع ضغط الدم . ومن جهة أخرى ، فالحلايا الموجودة في مكان إصابة أو تلف تفرز مواد ، مثل المستامين ، تعمل على توسيع الشرايين وبالتالي زيادة سريان أو تدفق الدم في تلك المنطقة . وتساعد الخلايا البيضاء المحبة للأساس (Basophils) وخلايا أخرى في تلك العملية . ويبقى الكثير من الأبحاث التي يمكن إجراؤها على عمل وكذلك على العلاقات المتداخلة لتلك المواد .

ولو أن جدر الشعيرات ليس بها عضلات وبالتالي لا يمكن التحكم فيها مباشرة ، فالعمل الكلي لمجموعة الشعيرات هو تحت تحكم كامل . ويجري بين الشرايين والأوردة وعاء (Vessel) يسمى بالقناة الشاملة Thoroughfare channel (الشكل ٢٣-٢٤) الذي منه تنشأ الشعيرات الحقيقية . كما توجد حلقة من العضلات ، قابضة ما قبل الشعيرات (Precapillary sphincter) عند نقطة تفرع كل شعيرة من تلك القناة الشاملة . وعند إنفراج تلك القناة ، يجري الدم إلى الشعيرة ، وعند إنقباضها ينقطع سريان الدم إليها . وعموما فإن المنبة الذي يتسبب في إنقباض الشرايين في أي مكان من الجسم يسبب أيضا إنقباض قوابض ما قبل الشعيرات ، ويحدث نفس الشيء للمنبهات التي تتسبب في إنفراج (اتساع) الشرايين .

وتوجد كذلك درجة محسوسة من التحكم الموضعي على مجموعة الشعيرات . فعندما تقوم خلايا في الفراغ النسيجي بالتمثيل الغذائي السريع ، فانها تفرز موادا تتسبب في إرتخاء قوابض الشعيرات ، ويعتبر ذلك ميكانيكية جيدة للتحكم لأن الخلايا التي تقوم بعمليات التمثيل الغذائي السريع تحتاج إلى إمدادات إضافية من الجلوكوز



الشكل (٢٣-٢٤): تنظيم مجموعة الشعيرات. يحدث التحكم في سريان الدم بالتغيرات في قطر الشرايين، التحويلة، قناة التغذية الكاملة، فقط جدرانها عضلية.

والأوكسجين، وتحتاج كذلك إلى حمل فضلاتها بسرعة بعيدا عنها، ويعتني بهذين المطلبين بزيادة سريان الدم في الشعيرات المجاورة.

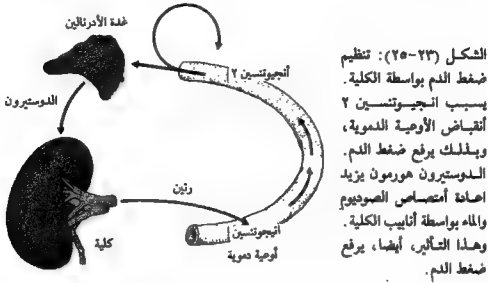
ويمكن لجميع كمية (حجم) الدم في الجسم أن تحتويه جميع الشعيرات وحدها إذا ما كانت كلها مفتوحة في نفس الوقت. وللحصول على ضغط وسريان دم مناسب، فمن المهم أن تكون مجموعة الشعيرات مفتوحة في جزء واحد من الجسم ومغلقة في الجزء الآخر، وتحت حالات قليلة، قد لا يحدث ذلك، إذ أن بعض العقاقير، والألم، وحتى الصدمات العاطفية، قد تسبب في تمدد جميع الشرايين وفتح الشرايين في الجسم بأكمله. ولو أن حجم الدم يبقى عاديا، فإن ضغط الدم يقل بشدة وقد يصاب الضحية بصدمة (Shock)، فإذا ما وضع الضحية في وضع أفقي، يستمر المخ والقلب في تلقي كميات كافية من الدم وتكون فرصة الشفاء ممتازة. وإذا ما وضعت الضحية في وضع رأسي، على أية حال، فإن الضحية ستموت بسبب نقص الأوكسجين في المخ والقلب وقد يكون هذا هو الموت بالتعذيب.

ويمكن للصدمة كذلك أن تحدث بسبب النزيف الحاد. ويمكن للقلب أن يضخ فقط مقدارا من الدم يماثل المقدار الذي يتلقاه. فإذا رجعت إلى القلب كمية غير كافية،

فان ما يوضحه القلب (وبالتالي ضغط الدم) يهبط. وتفشل الأنسجة، خاصة في المخ والقلب، في تلقي الكميات الكافية من الأوكسجين والجلوكوز. وللتغلب على آثار النزيف الحاد، تنقبض الشرايين وتقلل مجموعة الشعيرات (فيما عدا في المخ والقلب)، ويقلل هذا من حجم الجهاز ويساعد في البقاء على ضغط الدم الطبيعي. وفي الجلد، قد يراوغ سير الدم في مجموعة الشعيرات، إذ أن أطوال الأوعية، وهي عادة مغلقة، تهبط الاتصال المباشر بين الشرايين والأوردة، وهذه التحاويل يمكنها تمرير الدم الشرياني مباشرة إلى الأوردة وبذلك تسرع من مرور الدم للخلف إلى القلب (الشكل ٢٣-٢٤).

والفقاريات التي تتنفس الهواء وتقضي وقتا طويلا تحت الماء (مثل كلاب البحر وطيور البطريق Penguins) والسلاحف والتناسيح) تستخدم وسيلة (ميكانيكية) مشابهة للتأكد من أن إمدادات الأوكسجين للقلب والمخ لا تقل بصورة خطيرة. فعند غطس الحيوان، تقل بشدة إمدادات الدم لبقية أجزاء الجسم، بحيث يكون الأوكسجين المتبقى في الدم كافيا للأجهزة التي هي في حاجة أكثر إليه: القلب والمخ. وبمبدأ تشريح قلب السلحفاة المائية بجهاز ميكانيكي إضافي يساعد في هذا التعامل (التوافق). فبينما تكون السلحفاة تحت الماء، تدخل كمية كبيرة من الدم في الجانب الأيمن من البطن وتقر خلال فتحة الحاجز (أنظر الشكل ٢٣-٢٥) وترجع ثانية إلى الأجزاء الحيوية (مثل المخ) في الجسم. وبعمل هذا، يتفادى الدم الرئتين، التي تصبح أقل فائدة على أية حال إذ أن الأوكسجين بها يكون قد استنفذ.

وفي الثدييات، تكون الكلية مسئولة عن تنظيم ضغط الدم وتهيء العمل التصحيحي إذا ما بدأ ضغط الدم في الهبوط. ويمكن للكلية عمل ذلك بإفرازها لإنزيم هضم البروتينات المسمى رين (Renin) والذي له تأثير خاص جدا. وأساس هذا الإنزيم هو جلوبيولين يسمى أنجيوتنسينوجين ٢ (Angiotensinogen) موجود في البلازما. ويفتت الرين بيتيد (يحتوي على ١٠ أحماض أمينية)، يسمى أنجيوتنسين (١) (Angiotensin 1) الذي يمكنه أن يؤثر عليه بانزيم الببتيداز الموجود في البلازما. والنتائج النهائي هو بيتيد صغير يحتوي على ثمانية أحماض أمينية ويسمى أنجيوتنسين (٢) (Angiotensin 11). ويسبب أنجيوتنسين (٢) انقباض الجدر العضلية للشرايين، وهذا يسبب قفل الشعيرات، وبإعادة حجم دم الأوعية



الفعالة إلى توازنها مع حجم الدم ، تسترجع ضغط الدم الطبيعي (الشكل ٢٣-٢٥) . وللأنزيم أنجيوتنسين (٢) تأثير آخر على حجم وضغط الدم ، فتوجد فوق كل كلية غدة صماء هي غدة الأدرينالين (Adrenal gland) فعند وصول الأنجيوتنسين (٢) إلى خلايا الجزء الخارجي لغدة الأدرينالين ، تجعل تلك الخلايا تفرز هرمون الألدوستيرون (Aldosterone) ، ويعمل الألدوستيرون مباشرة على أنابيب الكلية ، مسرعا إعادة إمتصاص أيونات الصوديوم ( $Na^+$ ) وهذا بدوره يسرع إعادة إمتصاص الماء وبذلك يساعد في الحفاظ على حجم وضغط الدم .

## THE TRANSPORT OF HEAT

## ٢٣-٢١ . نقل الحرارة

إضافة إلى دورة في نقل المواد ، فإن الجهاز الدوري مسئول عن توزيع الحرارة بجميع أجزاء الجسم ، وهذا حقيقي بالنسبة إلى الحيوانات ذوات الدم الحار وكذلك الحيوانات ذوات الدم البارد . ويطلق اسم ذوات الدم الحار على الطيور والثدييات إعترافا بالحقيقة بأنها يمكنها ، دائما ماتفعل ذلك ، الاحتفاظ بحرارة جسمها أعلى من الحرارة المحيطة بها . ولكن ليست هذه هي الحقيقة دائما ، فبعض تلك الحيوانات تسمح لحرارتها أن تنخفض إلى الحرارة المحيطة بها ، عندما تدخل في بيئاتها الشتوى على سبيل المثال . وبعضها مثل الثدييات الموجودة في مناطق السفانا الاستوائية ، على سبيل المثال - لا بد من أن تحتفظ بحرارتها أقل من الحرارة الشديدة التي تعيش فيها . وعلى أية حال ، توجد



ظاهرتان تميزان الطيور والثدييات عن باقي المملكة الحيوانية .

١ - تحتفظ الطيور والثدييات بحرارة أجسامها بداخل حدود ضيقة مهما كانت درجة الحرارة المحيطة، ولهذا السبب توصف تلك الحيوانات بأنها ثابتة التنظيم الحرارى أي لا تتغير حرارة أجسامها (Homoeothermic) (بعكس الحيوانات ذوات الدم البارد والتي يمكنها من أن تغير من حرارة الجسم والتي تسمى (Poikilothermic).

٢ - تعتبر الطيور والثدييات ذاتية أو داخلية التنظيم الحرارى (Endothermic) أي، أن الحرارة التي بها تحتفظ بحرارة أجسامها تتولد داخل أجسامها. وبعض الحيوانات ذوات الدم البارد، مثل السحالي التي تتعرض أجسامها إلى الشمس، تولد درجة حرارة مرتفعة لأجسامها مثل الطيور والثدييات، ولكنها خارجية التنظيم الحرارى، أي، تؤمن الحرارة للقيام بذلك خارجياً (من الشمس).

والمنبع الأساسي للحرارة في الحيوانات داخلية التنظيم الحرارى هو التمثيل الغذائي الجارى في الأجهزة الداخلية. فنحو ثلثي الحرارة المتولدة في الانسان المستريح تنشأ بواسطة أجهزة الصدر والفراغات البطنية والمخ (والذي يساهم بنحو ٦١٪ من الحرارة الكلية وهو نفس المقدار الذي تولدة جميع العضلات الهيكلية عندما تكون في حالة راحة).

وتوجد عدة إحتياجات يمكن للحيوان الداخلي للتنظيم الحرارى أن يأخذها عندما يبدأ في فقد الحرارة للبيئة المحيطة به أسرع مما يمكنه أن يولد الحرارة (عندما يبدأ الجرو في البرودة)، وتلك الإحتياجات هي :

١ - يمكن للحيوان أن يزيد من معدل التمثيل الغذائي لأنسجته، فكثير من الثدييات تزيد من معدل تمثيلها الغذائي عندما تبدأ الأجزاء المحيطة بها في أن تصبح أبرد، ولكن مازال هذا الرأي قابلاً للجدل فيما إذا كان في إمكان الانسان أن يفعل ذلك.

٢ - يمكن للحيوان أن يزيد من نشاطه الطبيعي، فعند الراحة، تساهم العضلات بمقدار بسيط (نحو ١٦٪) لحرارة الجسم، ولكن أثناء التدريب الشاق على أية حال، يمكن للحرارة المتولدة من العضلات النشطة أن تزيد من الإنتاج الكلي

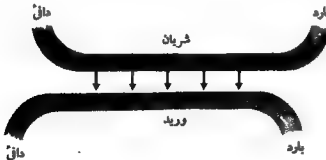
لحرارة الجسم بصورة واضحة . وفي غياب نشاط العضلات الارادية ، يحدث نفس التأثير بالرعشة .

٣ - كلما زادت نسبة السطح إلى الحجم لأي جزء من أجزاء الجسم ، كلما زادت سرعة نقل هذا الجزء للحرارة إلى البيئة المحيطة به . لذلك فانك أول ماتشعر بالبرد يكون ذلك في اليدين والقلمين ، إذ أن فقد الحرارة من تلك الأطراف يمكن خفضها بمرور الدم إليها . فعند البرودة الشديدة ، على سبيل المثال ، يمكن لمرور الدم إلى الأصابع أن ينخفض إلى ١٪ أو ما يعادل ذلك من القيمة العادية .

ويستغل الكثير من الحيوانات (ومنها الانسان) الجهاز الدوري بطريقة أخرى لمنع حدوث فقد غير مستحق في الحرارة ، فالشرايين في أذرعنا وأرجلنا تسير موازية لمجموعة من الأوردة العميقة . فعند مرور دم دافئ لأسفل في الشرايين ، يعطى هذا الدم جزءا من حرارته إلى الدم الأبرد الراجع من الأطراف في تلك الأوردة . ويطلق على مثل هذه الميكانيكية اسم التبادل الحراري للتيار المضاد (Counter -current heat exchanger) (الشكل ٢٣-٢٦) . وعندما لا يسبب فقد الحرارة أية مشكلة ، فإن معظم الدم الوريدي في الأطراف يرجع عن طريق الأوردة الموجودة قرب السطح .

وتعمل متبادلات التيار المضاد الحراري بكفاءة ممتازة في بعض الحيوانات . فطائر النورس (Seagull) على سبيل المثال ، يمكنه الحفاظ على درجة حرارة عادية في ريشة بينما يكون واقفا بقلبه الغير محمي في مياه متجمدة .

ولقد لاحظنا سابقا في نفس هذا الباب ، أن الدم الذي يضخه قلب سمكة يمر مباشرة إلى الخياشيم ، ولا تساعد المساحة الكبيرة السطحية للخياشيم في سرعة تبادل الغازات فقط ، ولكن أيضا تجعل مما لا مفر منه أن تكون حرارة الدم الذاهبة إلى بقية



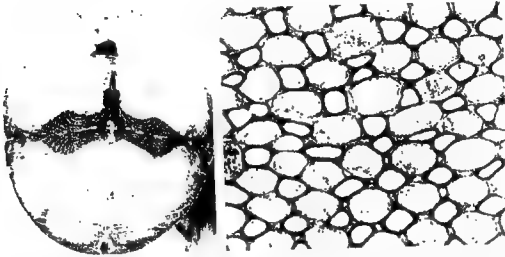
الشكل (٢٦-٢٣) : عمل التبادل الحراري للتيار المضاد .

أجزاء الجسم مثل حرارة المياه المحيطة. ويمكن لبعض الأسماك البحرية (مثل التونة) الاحتفاظ بأهم عضلاتها نشاطا في السباحة في درجة حرارة أدفا من درجة حرارة البحر وذلك باستخدام التبادل الحرارى للتيار المضاد السابق ذكرة، حيث يمر الدم الشرياني البارد والغني بالأكسجين بداخل سلسلة من الشرايين الدقيقة أو التي تأخذ الدم إلى تلك العضلات النشطة، كما تقع تلك الشرايين الدقيقة جنبا إلى جنب مع الأوردة التي تأخذ الدم الفاسد من تلك العضلات النشطة (الشكل ٢٣-٢٧). لذلك، فبينما يمر الدم البارد إلى العضلات النشطة هذه، فإنه يلتقط الحرارة التي تكون قد تولدت بتلك العضلات وتحفظها من الضياع في البيئات المحيطة. وشكرا لظاهرة التبادل الحرارى للتيار المضاد، إذ تمكن سمكة التونة التي تسبح شتاء في أن تحافظ على نشاط عضلات العموم بها والتي تكون درجة حرارتها أدفا ١٤°م من الماء المحيط بها.

ويمكن للجهاز الدورى كذلك أن يقوم بعمليات يمكن للحيوان أن يقوم بها إذا ما إرتفعت درجة حرارة الجو كثيرا. وفي تلك الحالة، يزداد توارد الدم إلى السطح والأطراف، للتمكين من فقد الحرارة بطريقة أكثر كفاءة إلى البيئات المحيطة. فإذا كان هذا غير كاف، يمكن للحيوان أن يبخّر الماء من دمة - في صورة عرق في تلك الحيوانات التي بها غدد عرقية، فبخر جرام واحد فقط من الماء يمتص نحو ٥٨٠ سعرا حراريا.

ولا يمكن لأغلب الثدييات تحمل إرتفاع في درجة حرارة الجسم أكثر من خمسة درجات مئوية (٥°م) أو مايقارب ذلك. والمخ هو أهم عضو قابل للتلف نتيجة لارتفاع الحرارة. وبعض الثدييات - الكلاب، على سبيل المثال، عندها جهاز تبادل حرارى للتيار المضاد موجود بين الشرايين السباتية والأوعية التي توزع الدم إلى المخ. وبحول هذا التبادل الحرارى بعضا من حرارة الدم الشرياني إلى الدم الوريدي الأبرد نسبيا والعائد من الأنف والفم، وبذلك يربط الدم الشرياني قبل وصوله إلى المخ. ولقد تم شرح هذا الجهاز بالتفصيل في مقالة للعالمة ماري آن بيكر (Mary Ann Baker) في نهاية هذا الباب.

ويتحكم في تغيير سريان الدم عند الحاجة للحفاظ على الحرارة الذاتية المستقبلات الحرارية الموجودة في المخ، وستتناول هذا الثرموستات بالتفصيل فيما بعد في الباب الثامن والعشرين.



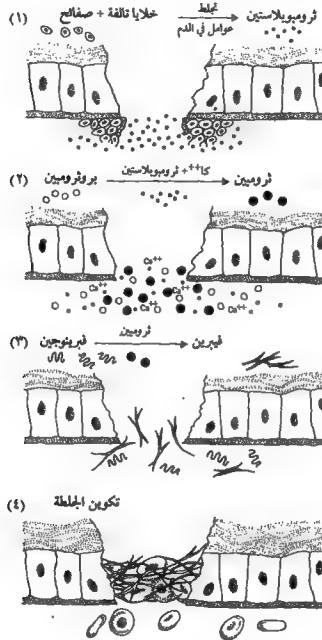
الشكل (٢٣-٢٧): يسار: قطاع عرضي في Skipjack tuna العضل الغامق على كلا جانبي العمود الفقري يتم الحفاظ عليه في درجة حرارة أعلى من بقية السمكة بفضل المغير الحراري للتيار المضاد. يمين: صورة دقيقة لقطاع عرضي خلال مغير الحرارة. لاحظ التجمع المتوازي المتلاصق للشرابين (جدر سمكة) والأوردة (جدر رقيقة). (بتصريح من ي. ر. ستيفانز، قسم الحيوان، جامعة جولف، أونتاريو، كندا).

## CLOTTING OF BLOOD

## ٢٣-٢٢. تجلط الدم

عندما تنقطع أو تنفجر الأوعية الدموية، فمن الأهمية بمكان إيقاف فقد الدم من الجهاز الدوري قبل حدوث الصدمة والتي تعقبها الوفاة. ويمكن حدوث تجمد، أو تجلط، الدم في الأوعية الرئيسية، فبسيان الدم إلى الخارج من وعاء متضرر، تلتصق الصفائح الدموية بالسطح الداخلي لجدار الوعاء. وتفرز الصفائح والخلايا المتضررة في المنطقة مادة دهنية والتي يتم تنشيطها بواسطة بروتينات معينة (عوامل التجلط) في الدم لتكوين مادة الثرومبوبلاستين Thromboplastin. وفي وجود أيونات الكالسيوم وعوامل إضافية أخرى للتجلط في الدم، يقوم الثرومبوبلاستين بتحويل البروثرومبين (سيرم جلوبيولين يصنع باستمرار بواسطة الكبد) إلى ثرومبين. والثرومبين إنزيم يقوم بتحويل بروتين البلازما الذائب والمسمى فريونجين إلى بروتين غير ذائب هو الفبرين (Fibrin)، وبالتدريج يكون الفبرين نسيجاً شبكياً تتعلق به خلايا الدم بالتدريج، وسرعان ما يتكون سد (الجلطة) يوقف فقد الدم من الوعاء المتمزق.

ولم يتم فهم الخطوات المختلفة في عملية التجلط جيداً حتى الآن، ولا يوضح



الشكل ٢٣-٢٨؛ آلية تجلط الدم.

الشكل (٢٣-٢٨) إلا صورة عامة لعملية التجلط. وقد يؤدي أي نقص لأي مكون في العملية، مثل الصفائح الدموية، عامل التجلط في البلازما، أو البروثرومبين، إلى نزيف حاد داخل أو خارجي حتى في الجروح الصغيرة مثل قطع بسيط أو إنشقاق في الأوعية الدموية الصغيرة بسبب كلمة.

## ملخص الباب

## CHAPTER SUMMARY

ان بيئة كل من الثلاثة تريليون خلية والتي يتكون منها جسمنا هي بيئة سائلة . وهذا السائل، السائل البين فراغي (Interstitial Fluid)، وكذلك الدم، يصنعان (ECF) الجسم. ولو أن هذا السائل البين فراغي ربما يكون أقل وضوحا في جهازنا الدوري عن الدم، إلا أن هذا السائل هو البيئة الداخلية التي تعيش فيه خلايانا الحية. ويصنع هذا السائل من الدم، على أية حال، ويعود، بعد ان يفرق الأنسجة، إلى الدم. وأي تغيير في الخواص الكيميائية والطبيعية للدم ينتج عنه على الفور تغييرات مماثلة في السائل المذكور. وتم في الأبواب القليلة السابقة مناقشة عدة آليات تعمل على الإبقاء على تركيب كيميائي ثابت وغير متغير (وكذلك على حالة طبيعية ثابتة) في الدم. ويمكن الحفاظ على الثبات الدائم للحرارة، درجة الحموضة (pH)، تركيز الجلوبيولين، الأوكسجين، ثاني أكسيد الكربون في الدم بواسطة آليات تنظيمية فائقة الدقة. ويحافظ هذا الثبات في الدم على الحرارة الذاتية (Homeostasis) للسائل البين فراغي وبالتالي للبيئة الحقيقية، وهي البيئة الداخلية لأجسامنا. وبالرغم من التغيرات الكبيرة في البيئة الخارجية، في الغذاء، في النشاط العام للجسم، فإن خلايانا تستمر في العمل تحت ظروف هي في العادة مثل وغير متغيرة نسبيا. وسنقوم في الباب الخامس والعشرين باختبار وسائل أخرى يمكن بها الحفاظ على الحرارة الذاتية في جسم الإنسان.

## تمارين ومسابقات

## EXERCISES AND PROBLEMS

- ١ - تتحد أيونات السترات (ك. يد.  $\text{V}$ ) مع أيونات الكالسيوم (كا<sup>++</sup>) لتكون منتجاً غير قابل للذوبان، ٢ ك. يد.  $\text{V}$  = ٣ كا<sup>++</sup> ← كا<sub>٢</sub> (ك. يد.  $\text{V}$ ). لماذا نفترض إضافة ولو كمية صغيرة من سترات الصوديوم أو سترات البوتاسيوم إلى الدم المتجمع للتخزين في بنوك الدم؟
- ٢ - تتبع الماء الذي تأخذه خلية دم حمراء ابتداء من مجموعة الشعيرات في إبهامك الأيمن، إلى الرئتين، ثم العودة ثانية إلى نفس مجموعة الشعيرات. أذكر كل الأوعية والصمامات والغرف التي تمر بها تلك الخلية من الدم الحمراء.

- ٣ - الأدب العامة من خواص الحالات الشديدة لنقص البروتين. كيف يمكنك تفسير ذلك؟
- ٤ - لماذا تصعب رؤية صفائح الدم المصبوغة؟
- ٥ - لماذا تنقل الشرايين في الانسان دما غير مؤكسد؟
- ٦ - ماهي كمية الدم التي يحتاج الانسان الذكر البالغ أن يضخها كل دقيقة كي يمكن أن يقابل احتياجاته من الأوكسجين أثناء تدريب شاق إذا لم يكن بدعة هيموجلوبين؟
- ٧ - لخص الآليات المختلفة والتي بها يهيء جهازنا الدوري نفسه للوفاء باحتياجات التدريب الشاق.
- ٨ - لماذا تحتاج إلى الصيامات في الأوردة وليس في الشرايين؟
- ٩ - توجد الحبيبات الحاملة للأوكسجين في القشريات وليس في الحشرات. علل هذا الفرق.
- ١٠ - قارن بين بلازما الدم، المصل، السائل الخلوي، الليمف.
- ١١ - ماهي النسبة المثوية للهيموجلوبين في جسمك والتي تتعلق بها الأوكسجين عندما يكون ضغط الأوكسجين ٥٠ تور (Torr) ودرجة الحموضة (pH) ٧,٤ (انظر الشكل ٢٣-١٦)؟ ماذا تكون النسبة عند نفس الضغط ولكن عند درجة حموضة تبلغ ٧,٢؟
- ١٢ - ما هو ضغط الأوكسجين (مقدرا بالتور Torr) الذي تتوقع وجوده في أنسجة إنسان في حالة راحة (انظر الشكل ٢٣-١٦)؟ وماذا يكون الضغط في عضلات الرجل أثناء التدريب الشاق؟
- ١٣ - في الرسم البياني الموضح في الشكل (٢٣-١٦)، إرسم توقعاتك عن الأماكن النسبية في منحنى التشبع الهيموجلوبيني عند درجات حرارة ٣٦°م، ٣٧°م، ٣٩°م.
- ١٤ - إرسم رسماً بيانياً كالموجود في الشكل (٢٣-١٩) والذي يوضح البرشح والامتصاص من مجموعة الشعيرات: (أ) شخص يعاني من الجفاف الشديد، (ب) شخص يعاني من مرض إحتقان القلب (الذي يسبب اختلاط الدم في الأوردة الأخرافية والأذين الأيمن).

## REFERENCES

## المراجع :

- 1- MUIR, A. R., The Mammalian Heart, Oxford Biology Readers, No. 8, Oxford University Press, Oxford, 1971.
- 2- MAYERSON, H.S., "The Lymphatic System," Scientific American, Offprint No. 158, June, 1963.
- 3- ZWEIFACH, B. W., "The Microcirculation of the Blood," Scientific American, Offprint No. 64, January, 1959.
- 4- SCHOLANDER, P. F., "The Master Switch of Life," Scientific American, Offprint No. 172, December, 1963. Describes how air - breathing vertebrates reduce the blood supply to all organs but the heart and brain while underwater.
- 5- CHAPMAN, C. B., and J. H. MITCHELL, "The Physiology of Exercise," American, Offprint No. 1011, May, 1965. Describes the mechanisms by which the human body meets the demands on the circulatory system that occur during violent exercise.
- 6- ADOLPH, E. F., "The Heart's Pacemaker," Scientific American, Offprint No. 1067, March, 1967.
- 7- NEIL, E., The Mammalian Circulation, Oxford Biology Readers, No. 82, Oxford University Press, Oxford, 1975.
- 8- SCHMIDT-NIELSEN, K., "Countercurrent Systems in Animals," Scientific American, Offprint No. 1497, May, 1981.
- 9- CAREY, F.G., "Fishes With Warm Bodies," Scientific American, Offprint No. 1266, February, 1973. How the tuna keeps its powerful swimming muscles warm by means of countercurrent heat exchange.
- 10- BAKER, MARY ANN, "A Brain-Cooling System in Animals," Scientific American, Offprint No. 1428, May, 1979.
- 11- ZUCKER, MARJORIE B., "The Functioning of Blood Platelets," Scientific American, Offprint No. 1472, June, 1980.



## CHAPTER 24

## الباب الرابع والعشرون

### THE IMMUNE SYSTEM

### الجهاز المناعي

INTRODUCTION	مقدمة: ٢٤-١
CELL-MEDIATED IMMUNITY	المناعة المتسببة عن وسيط خلوي: ٢٤-٢
HUMORAL IMMUNITY	المناعة عن طريق السائل الجسمي: ٢٤-٣
THE STRUCTURE OF THE IMMUNE SYSTEM	تركيب الجهاز المناعي: ٢٤-٢
THE STRUCTURE OF ANTIBODIES	تركيب الأجسام المضادة: ٢٤-٣
THE INTERACTION OF	التفاعل بين الأجسام المضادة ٢٤-٤
ANTIBODIES AND ANTIGENS	والأجسام الغريبة (الأنتيجينات): ٢٤-٥
ANTIGENS	الأجسام الغريبة (الأنتيجينات): ٢٤-٥
HOW ARE ANTIBODIES ELICITED	كيف تظهر الأجسام المضادة: ٢٤-٦
THE SECONDARY RESPONSE	الاستجابة الثانوية: ٢٤-٧
THE GENETIC BASIS OF	الأساس الوراثي لتنوع ٢٤-٨
ANTIBODY DIVERSITY	الأجسام المضادة: ٢٤-٩
TRANSPLANTATION AND THE	زراعة الأنسجة ٢٤-٩
UNIQUENESS OF THE INDIVIDUAL	وخصوصية الفرد: ٢٤-١٠
CANCER AND IMMUNE SURVEILLANCE	السرطان والحد من تكاثره المناعي: ٢٤-١١
ALLERGIES	أمراض الحساسية: ٢٤-١١

**CHAPTER SUMMARY**  
**EXERCISES AND PROBLEMS**  
**REFERENCES**

ملخص الباب  
تمارين ومسائل  
المراجع

## الباب الرابع والعشرون

### الجهاز المناعي

#### INTRODUCTION

٢٤-١. مقدمة

كان الناس يدركون منذ عدة قرون أن بعض الأمراض لاتصيب نفس الشخص مرة ثانية، وكان يمكن لأحد الناجين ذو البشرة المجردة Pockmarked من وياه الجلديرى أن يتعامل مع المرضى في وياه لاحق. ونتيجة لتقلص هذا المرض، حدثت بعض التغيرات داخل الجسم جعلت هذا الشخص من الآن فصاعداً منيعاً ضد المرض.

ويمكن توضيح الاستجابة المناعية بأحدى أو بكلا الآليتين، فبعض الاستجابات المناعية تحمل بواسطة الخلايا الحية، وهو نوع خاص من الخلايا الليمفاوية، ويطلق على مثل هذه الاستجابات بالواسطة - الخلووية (Cell-mediated)، وتعمل إستجابات مناعية أخرى بواسطة جزيئات بروتينية تسمى بالأجسام المضادة (Antibodies). وتحمل الأجسام المضادة في الليمف ويلازما الدم، ولهذا السبب، فالأسم "Humoral" (أي البائل الجسمي) غالباً ما يستخدم لوصف الاستجابات نتيجة وجود أجسام الجسم المناعية.

#### CELL-MEDIATED IMMUNITY

المناعة المتسببة عن وسيط خلوي

يطلب الكثير من الولايات المتحدة الأمريكية فحص الأساتذة والمدرسين (من بين آخرين) دورياً بمرض السل الذي تسببه البكتيريا *Mycobacterium*

*tuberculosis* والمسماة عادة باسبيلس السل. وفي أغلب الحالات، تهاجم البكتيريا الرئتين وتأخذها سكناً لها. والمرض مزمن، وقد تعيش البكتيريا داخل الرئتين لعدة سنوات. ويتسبب وجود البكتيريا في ظهور إستجابة مناعية والتي، لسؤ الحظ، لا تشفى المريض عادة، ولكنها تجعل من الممكن إجراء إختبار سريع غير مكلف للسل يسمى إختبار مانتوكس (Mantoux test). وفي هذا الإختبار، تحقن كمية بسيطة جداً من بروتين مستخرج من باسبيلس السل في الجلد، فإذا ما كان الانسان يأوى، أو كان يأوى من قبل، الباسبيلس، ينتج إختبار موجب، ففي خلال ٢٤ ساعة تنشأ بثرة صلبة حمراء عند موقع الحقن. فإذا ما نزع جزء من هذه البثرة وأختبرتها تحت الميكروسكوب العادي لوجدتها ممتلئة بالخلايا الليمفاوية (Lymphocytes) والخلايا الكبيرة المسماة (Macrophages) ويظهر التعرض لباسبيلس السل إستجابة مناعية متماثلة في خنازير غينيا. علاوة على ذلك، فإن حقنة من الخلايا الليمفاوية من شخص عنده مناعة (متطوع ذو إستجابة موجبة لأختبار مانتوكس (Mantoux) في خنزير غينيا تجعله موجب الإستجابة لأختبار مانتوكس، ولكن حقنة من سیرم هذا الشخص في خنزير غينيا لا تظهر أي إستجابة موجبة للأختبار المذكور. وفي الحقيقة، لا يمكن للأجسام المضادة أن تكتشف في الحيوانات المنية. والقدرة على نقل الإستجابة المناعية بحقنة خلايا ليمفاوية تؤهل تلك الخلايا الليمفاوية على أن تكون وسيط - خلوي إستجابي .

ولو أن مناعة الوساطة - الخلوية لاتفيد الضحية كثيراً في حالة مرض السل، فإن تلك المناعة ذات الوساطة - الخلوية هامة ضد الأمراض التي تسببها الفيروسات، فالأفراد الذين عندهم نقص في فرع الوسيط - الخلوي لجهازهم المناعي يكونوا أشد عرضة للأصابة بالفيروسات. ويعتقد بعض علماء المناعة أن مناعة الوساطة الخلوية قد تكون أيضاً دفاعاً هاماً ضد السرطان (أنظر قسم ٢٤-١٠).

#### HUMORAL IMMUNITY

#### المناعة عن طريق سوائل الجسم

في الباب الثاني عشر عرفنا أن النيموكوكسي (Pneumococci) هي المسبب الذي يحدث مرض النيمونيا البكتيرية، وتوجد بكمية كبيرة في أشكال مختلفة (١، ٢، ٣، وغيرها). والشخص الذي ينجو من النيمونيا من الشكل (٣) يصبح فقط منيعاً للنيمونيا من الشكل (٣). فإذا ما حقن الإنسان الشكل (٣) مرة أو مرتين

داخل مجرى الدم (وهو ليس بالبيئة المعتادة للبكتيريا) في الفأر، تتكاثر البكتيريا بسرعة ويموت الفأر بسبب التسمم الدموي (سبتيسما Septicemia). وعلى أية حال، إذا ما حقنت كمية صغيرة من سIRM دم إنسان ذو مناعة مع مئات بل آلاف من الشكل (٣) لبكتيريا التيموكوكسى، يبقى الفأر سليما. وليس لدم الإنسان الذي لم يمرض مطلقا بالنيومونيا شكل (٣) نفس الفاعلية الدفاعية. وتظهر القدرة على نقل المناعة كحقن السIRM بمفرده أن الاستجابة المناعية كانت إستجابة عن طريق سائل الجسم (Humoral)، ومكونات الحماية في السIRM هي جزيئات بروتين تسمى بالأجسام المضادة. والمناعة عن طريق سوائل الجسم الهامة وعلى الخصوص في الدفاع عن الجسم من البكتيريا التي، مثل التيموكوكسى، تنمو خارج الخلايا.

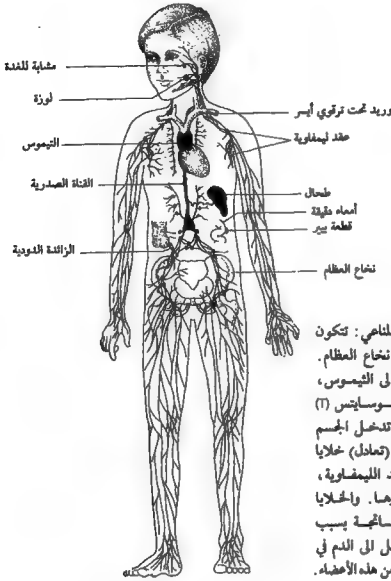
## ٢٤-٢. تركيب الجهاز المناعي:

### THE STRUCTURE OF THE IMMUNE SYSTEM

إن الأنسجة والأعضاء التي تكون الجهاز المناعي مبعثرة في جميع أنحاء الجسم (شكل ٢٤-١). وفي الإنسان (والثدييات الأخرى) فإن الأجهزة الرئيسية للجهاز المناعي هي نخاع العظام والغدة التيموسية (Thymus). ويحتوي نخاع العظام على الخلايا الرئيسية (الخلايا الأم) التي تنتج جميع خلايا الدم (الشكل ٢٣-١١). وكل من الخمسة أنواع من خلايا الدم البيضاء لها بعض الدور الذي تلعبه في المناعة، ولكن تقوم بالأدوار المركزية للمناعة الكرات البيضاء الكبيرة (Monocytes) (والتي تنشأ في الأنسجة بداخل الماكروفاجز (Macrophages) وكذلك الخلايا الليمفاوية (Lym-phocytes).

ولو أن جميع الخلايا الليمفاوية تشابة في الشكل تحت الميكروسكوب العادي إلا أنها كذلك بكل معاني الكلمة تشابة جميعا في الوظيفة. والخلايا الليمفاوية في الواقع هي مجموعة غريبة متنوعة من الخلايا. وعلى أية حال، تقع أغلب تلك الخلايا الليمفاوية الموجودة في أجسامنا في مجموعة أو مجموعتين رئيسيتين: خلايا ليمفاوية (ت) (T)، وخلايا ليمفاوية (ب) (B).

والخلايا المقدرة لها أن تصبح خلايا ليمفاوية (ت) تبدأ حياتها في نخاع العظام.



الشكل ٢٤-١. الجهاز المناعي: تتكون خلايا الجهاز المناعي في نخاع العظام. وبعض من هذه تهاجر إلى التييموس، حيث تبلغ وتصبح ليمفوسايتس (T) الأجسام الغريبة التي تدخل الجسم (أنتيجينات) تتصادم مع (تتفاعل) خلايا الجهاز المناعي في العقد الليمفاوية، الطحال، اللوز، وغيرها. والخلايا والأجسام المضادة الناتجة بسبب الاستجابة المناعية تحمل إلى الدم في الليمف الذي يعني Drains من هذه الأعضاء.

وسرعة، على أية حال، تترك النخاع وتجر في تيار الدم إلى الغدة التييموسية (الشكل ٢٤-١)، وفيها تقدم بتيانيات أكثر (Differentiation) (أي اختلافات في الشكل)، وعند الإنتهاء من ذلك تماماً تكون تلك الخلايا الليمفاوية (ت) مستعدة للقيام بأعمالها. وتنتج الخلايا الليمفاوية (ب) كذلك في نخاع العظام، ولكن بخلاف الخلايا الليمفاوية (ت) فأنها تصبح ناضجة في النخاع. وعلى أية حال، فأنها تترك كذلك النخاع قبل أن تصبح نشطة في المناعة.

ومن المهام الرئيسية لجهاز المناعة تركيب دفاع ضد المواد الغريبة (Antigens) والتي

تدخل الجسم، إذ لا تصلح الغدة التيموسية أو نخاع العظام لذلك. وعلى هذا فإننا نجد أنه قبل أن تبدأ في عملها، فإن كلا الخلايا الليمفاوية (ت) والخلايا الليمفاوية (ب) تبث من نخاع العظام والغدة التيموسية إلى مجاميع أوكتل (Clusters) من النسيج الليمفاوي الموزع في جميع أنحاء الجسم. ويتكون هذا النظام من الطحال، العديد من العقد الليمفاوية، اللوزتين، المصران الأعور، أعشاش من الخلايا المبعثرة في أماكن أخرى (الشكل ٢٤-١). والعقدة الليمفاوية هي بقعة مثالية لخلايا الجهاز المناعي لملاقاة المواد الغريبة (الأنتيجنز)، فأي مواد غريبة (مثل البكتيريا) التي تصل إلى الفراغ النسيجي تلتقطها الشعيرات الليمفاوية التي تفرغ في هذا الفراغ النسيجي وتحملها إلى عقدة ليمفاوية. وهنا يسيل الليمف خلال شبكة من الخلايا الأكلية (Phagocytic) (أساسا الماكروفاجز)، ويمكن إبتلاع أية مادة غريبة في هذا الليمف بالخلايا الأكلية المذكورة. ولقد تم معرفة أن أقل من ١٪ من البكتيريا التي تدخل العقدة الليمفاوية يمكنها الهروب من تلك العملية. ولكن وظيفة العقدة أبعد بكثير من مجرد الوظيفة البسيطة وهي تنظيف الليمف. ويتسبب إبتلاع المواد الغريبة (الأنتيجنز) بالماكروفاجز (الخلايا الأكلية) في بدء عملية تبلغ ذروتها في الاستجابة المناعية الوسيطة - خلوية أو المتسببة عن سوائل الجسم أو الأثنين معا.

والإستجابات الخلايا الوسيطة (Cell-mediated) مثل الاستجابة في اختبار مانتوكس، تنظمها الخلايا الليمفاوية. فعندما تتقابل الخلايا الليمفاوية (ت) والتي عندها مناعة لأنتيجن (مادة غريبة) خاص مع هذا الأنتيجن ثانية، فإنها تبدأ في تحنيد مجموعة من الخلايا الأخرى (مثل الماكروفاجز) للقيام بعملها. وأقل من ١٪ من الخلايا في موقع تفاعل Mantoux تكون على الخصوص مناعة لبروتينات باسيل السل، ولكنها عندما تتقابل مع تلك البروتينات، فإن هذا العدد القليل من الخلايا الليمفاوية (ت) يجند عددا أكبر من الخلايا في المنطقة. والنتيجة هي إستجابة النسيج المميز لإختبار مانتوكس.

وإنتاج الأجسام المضادة هو مسئولية الخلايا الليمفاوية (ب). وعلى أية حال، فإن إستجابة سائل الجسم للكثير من الأنتيجنز يحتاج كذلك إلى مساعدة الخلايا الليمفاوية (ت) (الشكل ٢٣-٢). وبطريقة ما، وهي غير واضحة حتى الآن، فإن الخلايا الليمفاوية (ت) تساعد الخلايا الليمفاوية (ب) الخاصة بالأنتيجن في أن تبعثر وتتحول

إلى خلايا بلازمية. والخلايا البلازمية هي الخلايا التي تفرز في الواقع الأجسام المضادة.

### ٢٤-٣. تركيب الأجسام المضادة THE STRUCTURE OF ANTIBODIES

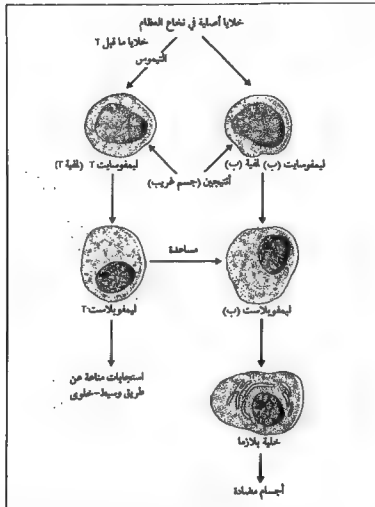
من المواد الظاهرة في المكونات المختلفة للدم هي البروتينات مثل الألبومين، فيريوجين، الجلوبيولينات (أنظر قسم ٢٣-١٣). ويوجد عدد من الطرق العملية التي يمكن بها فصل كل مكون من تلك المكونات عن الآخر (أنظر قسم ٢٣-١٣). فإذا ما تم عمل ذلك في السرم المناعي، فالجزء المحتوي على الجلوبيولينات هو الجزء الذي يمكنه أن يتبع مثلنا هنا، ويحمي الفأر من الموت بالنيموكوكسي (٣) (Pneumococci) (III)، وهذه الأجسام المضادة (وغيرها جميعا) هي عندئذ جلوبيولينات سريم.

وشكرا للمجهودات الرائدة للعالم سانجر (Sanger) (أنظر قسم ٤-٤)، إذ أنه يمكن الآن أن نحدد التركيب الأولي للبروتين، أي، مكوناته من الأحماض الأمينية بالضبط. ولقد أمكن عمل ذلك بالنسبة للأنسولين (Insulin) (الشكل ٤-١٧) والهيموجلوبين (أنظر قسم ١٣-٢) والريبونوكليز، والبروتين المغلف للفيروس MS<sub>2</sub> (الشكل ١٣-١٤) والكثير غيرها. فليإذا إذن لا نفعل نفس الشيء بالنسبة للجسم المضاد؟

لسوء الحظ، إتضح أنه لا يوجد نوع واحد من جزيء الجلوبيولين الذي يمكن أن يكون جسما مضادا ضد، على سبيل المثال، النيموكوكسي شكل (٣)، إذ يوجد في الواقع الكثير منها. فالأنسولين، والهيموجلوبين، والريبونوكليز، والبروتين المغلف MS<sub>2</sub> كلها تتكون من نوع واحد من الجزيئات والتي يمكن عزلها وتحليلها، ولم يمكن حتى الآن عزل وتحليل الأجسام المضادة. فعزل الأجسام المضادة التي تعمل ضد النيموكوكسي (٣) تمثل واحدا مع مزيج يحتوي على عدد مختلف من جزيئات البروتين، كل بتركيب الأولي الخاص به. وإلى عهد قريب، لم توجد طرق معملية لتكسير (تفتيت) هذا المزيج حتى يمكن تحليل مكون واحد أو أكثر نقي.

ولقد أمكن إيجاد الحل لهذه المعضلة من التأكد من أن شكلا نادرا من سرطان الإنسان (والفأر) يتضمن جهاز إنتاج الجسم المضاد. وضحية هذا المرض والمسمى المييلوما المتعددة (Multiple Myeloma) ينتج كميات من نوع واحد من جزيء الجسم





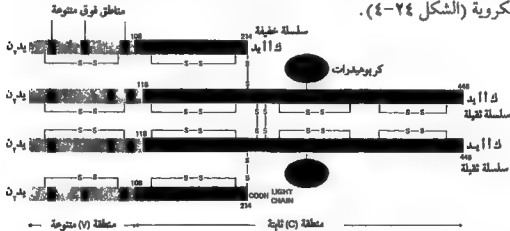
الشكل ٢٤-٢. ممرات نشوء الليمفوسايتات النشطة في فرعي الجهاز المناعي وهما الليمفوسايتات (T) للمناعة عن طريق الوساطة - بالخلية، ليمفوسايتات (B) لانتاج الأجسام المضادة. تحتاج الليمفوسايتات (B) مساعدة من تحت مجموعة من الليمفوسايتات (T) لكي تستجيب لأنتيجينات معينة. الليمفوسايتات المتقسمة تسمى ليمفوبلاستات.

المضاد. وليس هذا (طبقا لعلمنا حتى الآن) نتيجة الإصابة، ولكن يعتبر مثلا آخر (أنظر قسم ١٩-١) لخلية تدخل في فترة من الانشطار الغير محكوم. وفي هذه الحالة، تعتبر تلك الخلية جسما مضادا - مفرزا خلية، والكلون (Clone) (أنظر القسم ٩-١) الذي ينشأ ينتج منتجاتا بروتينيا واحدا.

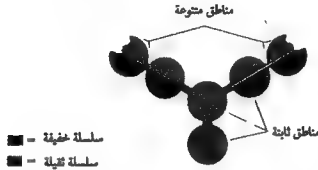
ومنع هذا، لا يعرف المرء ما هو الجسم المضاد الذي يعتبر ضد جسم مضاد، فالكميات الكبيرة والنقاوة لتلك المواد مكنت عددا من البحوث لجمع صورة كاملة

نجعلنا نصدق أن تلك الصورة تمثل التركيب الأساسي للعديد من جزيئات الأجسام المضادة. ويمكن تعريف خمسة أشكال مختلفة من بروتينات الميولوما (Myeloma) (جزيئات أجسام مضادة) في الإنسان، وأكثرها إنتشارا هو النوع الذي يطلق عليه رمز IgG.

ويوضح الشكل (٢٤-٣) تركيب بروتين الميولوما كما إكتشفه العالم إيدلمان (Edel-man) وزملاؤه، ويتكون الجزيء من (١) سلسلتين طويلتين من عديد الببتيدات (السلاسل الثقيلة) المحتوية على ٤٤٦ حمض أميني والمتطابقة مع بعضها البعض، (٢) سلسلتين قصيرتين (٢١٤ حمض أميني) (وهي السلاسل الخفيفة) التي تطابق كذلك بعضها البعض، (٣) بعض الكربوهيدرات الملتصقة بالسلاسل الثقيلة. وتلتصق السلاسل الثقيلة ببعضها البعض وبالسلاسل الخفيفة كذلك بكبارى كب - كب (S-S). وتوجد كذلك بكبارى كب - كب (S-S) داخل السلاسل الخفيفة وكذلك داخل السلاسل الثقيلة وهذه تدفع الجزيء إلى داخل عدد من المناطق المتلاحمة الكروية (الشكل ٢٤-٤).



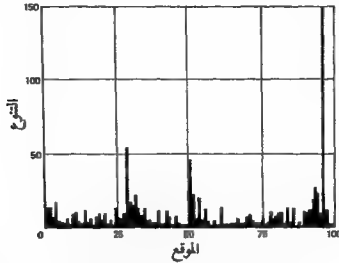
الشكل ٢٤-٣. تركيب سلسلة ببتيد لجزيء جسم مضاد. الأعداد تدل على عدد الأحماض الأمينية (العدد ابتداء من نهاية الأمينو الأخير - ن يد). السلسلتان الخفيفتان متناظرتان، كما هي السلسلتان الثقيلتان في الجزيء الصحيح، تتثنى السلاسل كي يصبح كل سيستين Cysteine ملاصق للزميل والذي سيكون معه ثاني كبريتيد (S-S) (أنظر شكل ٢٤-٤). وفي نوع معين، الجزيئات المختلفة للجسم المضاد (من الشكل المشاهد هنا) له نفس أو تقريبا نفس تتابع الأحماض الأمينية في المناطق الثابتة، ولكنها تظهر إختلافات واضحة في المناطق المتغيرة. تظهر هذه الإختلافات على الأخص في المناطق الفوق متغيرة. وجزيء الجسم المضاد الخاص هنا هو من النوع المسمى IgG. أنواع أخرى، IgE - أنظر شكل ٢٤-٢٢) تختلف بعض الشيء في تركيب سلاسلها الثقيلة.



الشكل ٢٤-٤: شكل توضيحي للتركيب ثلاثي الأبعاد لجزء الجسم المضاد. وخاصة الجسم المضاد، أي، قدرته على الارتباط مع عدد أنتيجيني معين، يمكن في الممتلكات التي تكونها المناطق المتغيرة في السلاسل الثقيلة والسلاسل الخفيفة. والممتلكات المتكونة بالمناطق الثابتة تقوم بوظائف أخرى في الجزء.

وأثبت تحليل عدد من بروتينات الميلوما المختلفة في الإنسان وجود بعض التشابهات الغربية. إذ أن نصف كل من السلسلة الخفيفة وثلاثة أرباع كل من السلسلة الثقيلة أي النهاية الكربوكسيلية في كل حالة - الشكل ٢٤-٣ لها في الواقع متواليات متشابهة في كل بروتين ميلومي في الإنسان لشكل معين مثل IgG. ويطلق على هذه المناطق عندئذ مناطق (C) الثابتة، وتتكون المنطقة الثابتة في السلاسل الثقيلة من ثلاثة متواليات متشابهة جداً (كل يحتوي على نحو ١٠٨ حمض أميني) مرتبة واحدة خلف الأخرى. وتشابه هذه المتواليات كذلك مع تلك الموجودة في المنطقة الثابتة للسلسلة الخفيفة.

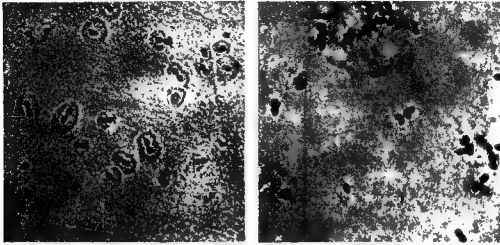
ويختلف الموقف تماماً في حلقة النهاية الأمينية (N يد) (الشكل ٢٤-٣) لكل سلسلة خفيفة وثقيلة. وهنا، فإن كل بروتين ميلومي تم إختبارة في الإنسان يبين عدة أحماض أمينية في كثير من المواقع. وبسبب وجود تنوع في إحلال الحمض الأميني، فإن هذه المناطق من السلاسل يطلق عليها المناطق المتغيرة (V). والتنوع التالي في المنطقة (V) يكون على الأخص واضحاً في بعض المناطق. وهذه المناطق المسماة بالمناطق الفوق-متغيرة (Hyper Variable) توجد تقريباً عند المواقع ٢٤-٣٤، ٥٠-٥٦، ٨٩-٩٧ في السلاسل الخفيفة (الشكل ٢٤-٥) وعند المواقع ٣١-٣٥، ٥٠-٦٥، ٩٥-١٠٢ في السلاسل الثقيلة. وسنرى في القسم التالي الدليل على أن هذه المناطق الفوق متغيرة هي شرط لعمل الجسم المضاد.



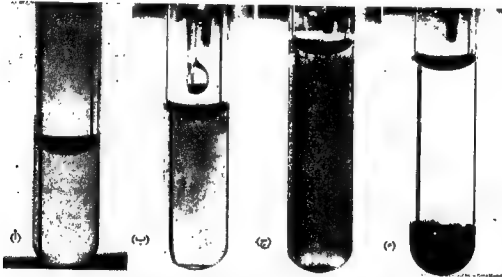
الشكل ٢٤-٥ : درجة التنوع الموجودة عند كل موقع في المنطقة المتنوعة (٧) لعدد كبير من السلاسل الخفيفة الناتجة من بروتينات المييلوما (Myeloma) وحيث يوجد حمض أميني واحد فقط عند موقع معين، فالتنوع يكون (١). وإذا وجد كل من الـ (٢٠) حمض أميني بتردد متساو عند موقع معين، يكون التنوع (٤٠٠). والثلاثة مناطق ذات التنوع المرتفع هي مناطق فوق متنوعة.

## ٢-٤ . التفاعل بين الأجسام المضادة والأجسام الغريبة (الأنتيجينات): THE INTERACTION OF ANTIBODIES AND ANTIGENS

الأشكال (٣)، (٤)، (٨، وغيرها) من النيموكوكسى (البكتيريا) تتحد بالتركيب الجزيئى لكبسولة عديدة التسكر التي تحيط بالكائن (الشكل ٢٤-٦)، ويمكن إبعاد تلك الكبسولة عديدة التسكر من البكتيريا في حالة نقية. وعند إضافة محلول من المضادات الحيوية إلى مضاد - الشكل (٣) النيموكوكسى، يتكون راسب أبيض كثيف (الشكل ٢٤-٧). فإذا ما اختبرت الكميات المستخدمة بعناية، فالمحلول المتبقى فوق الراسب يمكن توضيحه بأنه خال تماما من أي جسم مضاد أو من عديد التسكر. وكل عديد التسكر وكذلك كل الأجسام المضادة والتي كانت موجودة نجدها مركبة سويا في الراسب. إذن، فالأجسام المضادة يمكنها أن تتحد مع المواد التي أظهرتها. ونحن نسمى هذه المادة بالجسم الغريب أو الأنتيجين (Antigen). وسلوك الأجسام المضادة يشابه سلوك الأنزيم عندما يتحد مع بديلة (الشكل ٦-١٩). ونفس لقوى الضعيفة التي تربط الأنزيم بهادة تفاعله (مثل الروابط الأيدروجينية) مسئولة بذلك عن ربط الأجسام الغريبة بالأجسام المضادة.



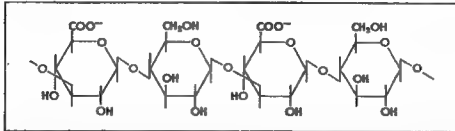
شكل ٢٤-٦. نيموكوكسي Pneumococci متحوصلة (يسار) وأخرى غير متحوصلة (يمين). الأشكال المتحوصلة (s) تغطي مستعمرات ناعمة ومرضية لأنها ليس من السهل أن تلتهمها الخلايا الملتزمة (فاجوسايتس) (الا إذا وجدت أجسام مضادة - الشكل ٢٤-١٠). الأشكال الغير متحوصلة (R) تنتج مستعمرات خشنة وغير ضارة نسبيا لأنها من السهل أن تلتهمها (بتلهمها) الفاجوسايتس. (بتصريح من روبرت أوستريان، مجلة الطب التجريبي، ١٩٥٣، ٢١:٩٨).



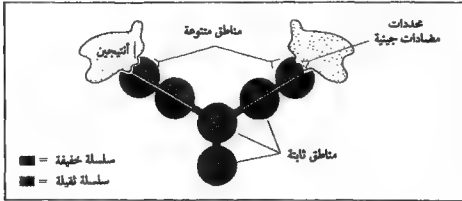
شكل ٢٤-٧: تفاعل الأنتيجين - الجسم المضاد. تحتوي أنبوبة الاختبار الموجودة إلى اليسار (أ) على محلول أجسام مضادة للتعرف النيموكوكسي عديد السكريات. يضاف محلول عديد السكريات (ب) وتتكون مركبات للأنتيجين - الجسم المضاد عديدة اللويان بمجرد ظهور العكارة (ج). وبعد ساعة، ترسب المركبات كراسب (د). فإذا ما كانت النسبة من الأنتيجين للجسم المضاد في المزيج قد اختبرت جيدا، فالسائل الموجود فوق الراسب سيكون الآن خاليا من كليهما.

وعديد السكر (٣) التيموكوكسى هو بوليمر (Polymer) ضخم (أي ذو قرابة الوزن الذرى ولكنه يختلف في حجم الجزيء) يتكون من صف طولى من آلاف وحدات الحمض الجلوكورنيك (قريب جدا للجلوكوز) والجلوكوز متبادلة مع بعضها بعض (الشكل ٢٤-٨). فإذا ما أضيفت أطوال صغيرة من هذا الجزيء (مثل عديد تسكر، ثلاثى التسكر، غيرها) إلى الأجسام المضادة - الشكل (٣)، يحدث الاتحاد نية. وعلى أية حال، فالقدرة الاتحادية للأجسام المضادة لا تستهلك، فهي مازالت درة على أن تتحد مع الشكل (٣) السليم لعديد التسكر. ومهما يكن، إذا ما جربنا لوالا تحتوي على ٧-٥ وحدات من السكر، فلا يصبح الجسم المضاد قادرا على الاتحاد مع عديد طبيعي. وهذا يجعلنا نقترح بأن جزيئات الجسم المضاد تتحد مع الجزء من ديد الذي يتكون فقط من ٧-٥ وحدات سكر طويلة (أو على وجه التقريب ٢٤-٣٠). وما يدعو إلى الدهشة أن نلاحظ أن الأجسام المضادة الموجهة ضد أشكال أخرى من الجزيئات (مثل البروتينات) تتحد كذلك مع جزء واحد فقط من الجزيء، وأن هذا الجزء يكون من نفس الطول. وبذلك لا يكون كافيا أن نقول بأن الأجسام المضادة تحدد مع الأنتيجينات (الأجسام الغريبة)، ولكنها بالأحرى تتحد مع جزء صغير من الأنتيجين والمسمى بالحاسم الأنتيجيني (Antigenic Determinant).

ونحن نفترض أن المحدد الأنتيجيني يناسب الدخول (Fits) في تجويف أو شق موجود على جزيء الجسم المضاد، ولهذا الشق شكل مكمل للمحدد (الشكل ٢٤-٩)، لذلك فأننا نتعامل مع نفس نظام نوع القفل والمفتاح والذي إفترضناه لتعقيدات للمواد لمعقدة المكونة من الإنزيمات ومواد تفاعلها (الشكل ٦-١٦). ويجب ملاحظة أن أماكن



شكل ٢٤-٨: التركيب الجزيئى للكبسولة عديدة السكريات المحيطة بالنوع من التيموكوكسى. لجزيء بوليمر طويل جدا غير متفرع ويتكون من وحدات متبادلة من الجلوكوز وحامض نلوكورونيك (مع المجموعة - ك أ-).

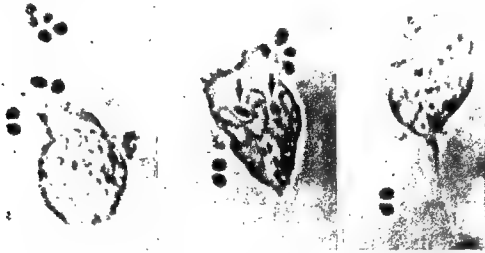


الشكل ٢٤-٩: رسم توضيحي لارتباط جزيئين من الأنتيجينات بمواقع ربط - الأنتيجينات في الممتلكات المتنوعة للجسم المضاد. ومناطق (٧) في السلاسل الثقيلة والسلاسل الخفيفة تشترك في تكوين موقع ربط - الأنتيجين. والموقعان في جزيء متشابهان.

المناطق الفوق متبانية للسلاسل الخفيفة والثقيلة مرتبة بحيث يمكن لخمسة من الستة أن تساهم في عمل الشق، والذي هو مكان اتحاد - الجسم المضاد.

وأغلب الأنتيجينات أكثر تعقيدا في التركيب عن الشكل (٣) العديد التسكر. والسلم الذي تفرزه بكتيريا الدفتيريا وكذلك الغلاف الخارجي لفيروس شلل الأطفال (Polio) لها مثالان لبروتين الأنتيجين واللذان لها عدة محددات (Determinants) أنتيجينية. ويظهر التعرض لتلك المواد تكوين أجسام مضادة ضد الحاسم. وبينما ينطبق ذلك على جزء واحد فقط من قصة تعدد الجسم المضاد، فليس من المستغرب أن البحوث الأول قد خاب أملهم في بحثهم عن جزيء جسم مضاد واحد لتحليلة.

وما هي الأهمية الحيوية في إيجاد الجسم الغريب (الأنتيجين) والجسم المضاد؟ بمجرد حدوث الاتحاد، يكون للجسم المضاد عدة آليات يمكنه بها أن يتعامل مع مركب الأنتيجين - الجسم المضاد، ويمكن مشاهدة إحدى هذه الآليات في الشكل (٢٤-١٠). فالخلافة (الكبسولة) التي تحيط بالنيموكوكسى تتدخل كثيرا في حدوث ألتهامها بالخلايا الآكلة (Phagocytes). وفي الحقيقة فإن تلك الخاصية للكبسولة هي التي تجعل من بكتيريا النيموكوكسى عديمة الكبسولة (من أشكال ر - R Forms) لا تسبب المرض، فإذا ما وجدت الأجسام المضادة المناسبة لمضاد النيموكوكسى، فأنها تتحد مع الكبسولة وتجعل الخلايا سهلة الألتهايم عن طريق خاصية الابتلاع داخل



شكل ٢٤-١٠: فاجوسايتوزس (الالتهم). يسار = خلية نيتروفيل تمدد قداما كاذبا نحو اثنين من بكتريا نيوموكوكسى. في الوسط: تم احتواء هذه البكتريا (الأسهم) وبدأت النيتروفيل في إحتواء أربعة أخرى من البكتريا المذكورة عند أعلى اليمين، وترك زوج من البكتريا (الى اليمين). أخيفت جسام مضادة للكبسولة عديدة السكريات المحيطة بالنيوموكوكسى لاسراع عملية الالتهم. (من و. ب. وود، م. ر. سميت، ب. والس، مجلة الطب التجريبي، ٨٤: ٣٨٧، ١٩٤٦).

لبلازما (Endocytosis). وفي الأيام التي سبقت إكتشاف الأجسام المضادة، فان بداية انتاج الجسم المضاد بواسطة الجهاز المناعي للمريض كانت الدليل على نقطة التحول في تقدم المرض.

وتوجد طريقة أخرى لتقدير أهمية الأجسام المضادة وهي إختبار مصير هؤلاء الأطفال (عادة أولاد) والذين يرثون عاملا نادرا هو المثبط (المرتبط بكموسم الجنس X-linked) في قدرتهم على صنع الخلايا الليمفاوية (ب). وفي الشهور الستة الأولى في حياة هؤلاء الأطفال، تستمر حياتهم طبيعية، وشكرا للأجسام المضادة لأمهاتهم والتي وصلت هؤلاء الأطفال عن طريق المشيمة. ولكن بعد ذلك، لاتصبح هذه الحماية فعالة إذ يبدأ الأطفال في التعرض لأصابات خطيرة متتالية. وشكرا للأجسام المضادة وللحقن الدوري لجلوبيولين المناعة (IG) في الإنسان، والتي تمكن هؤلاء الأطفال من البقاء على قيد الحياة. إن يعيشوا معيشة طبيعية نسبيا. فالجلوبيولين المناعي هو كسر الجلوبيولين جاما في لبلازما والمتجمع من آلاف المتطوعين، ويحتوي على أجسام مضادة ضد معظم لأمراض الوبائية التي تصيب الإنسان. وتزود حقن الـ (IG) حماية مؤقتة موجبة تماما كما



تحمى حقنة من سريم مضاد - النيموكوكسى الفأر كما تم شرحه في القسم السابق. وتوصف هذه الحماية بأنها موجبة لأن الأجسام المضادة لم تنتج من الجهاز المناعي للشخص نفسه.

## ٢٤-٥. المواد الغريبة (الأنتيجينات) ANTIGENS

ولو أننا حتى الآن أكدنا دورا لمناعة ضد الكائنات المرضية، فإن دور الجهاز المناعي بدون شك ينصب على التعامل مع مثل تلك المواد. فالجهاز المناعي قادر على صنع الأجسام المضادة ضد مجموعة من المواد الغير مرضية مثل حبوب لقاح نبات الرجيد (Ragweed)، لدغ الحشرات، الجسم الغريب (الأنتيجين) Rh، وهي ثلاثة أمثلة تضايق الإنسان. والأنتيجين Rh موجود على سطح خلايا الدم الحمراء في الأفراد ذوي Rh الموجبة. وقبل إكتشاف هذا الأنتيجين Rh، فالنسوة من النوع Rh السالب (حيث تكون خلايا الدم الحمراء فيهن فاقدة للأنتيجين) كان ينقل هن بدون إنتباه دما من النوع Rh الموجب، ولم يكن معروفا عندئذ أن إستجابتهن كانت نتيجة تكوينهن أجساما مضادة ضد Rh. فإذا ما حملت مثل هذه المرأة فيما بعد بطفل Rh موجب (هذه الصفة مورثة كسائد)، فإن الجنين يصاب بأنيميا حادة إذ تهاجم الأجسام المضادة للأم (عبر المشيمة) خلاياه الحمراء ويشحن الجهاز المناعي كذلك الخلايا الليمفاوية (ت) ضد العوامل الغير مرضية، والعنصر الفعال في نبات الأيفى (Ivy) السام هو مثل مشهور.

فهل توجد، عندئذ، حدود لما يمكن أن يعمل كأنتيجين؟ ولقد رأينا أن عديدات التسكر والبروتينات تعمل كأنتيجينات رائعة، الأحماض النووية تعتبر أنتجينات ولو أنها أقل فاعلية، وهي المجموعة الثالثة الرئيسية ذات الجزيئات الكبيرة. ومن جهة أخرى، فعزيمات صغيرة (مثل الجلوكوز) لا تظهر تكوين الأجسام المضادة. فالجسم، على ذلك، يبدو وكأنه أحد الاحتياجات المطلوبة لإثارة الاستجابة المناعية. ولكن ماذا عن الجزئيء الصغير الذي يسبب التسمم الموجود في نبات الأيفى السام (Poison Ivy)؟ والذي من الممكن حدوثه في هذه الحالة هو أن هذا الجزئيء الصغيرة يتحد أولا مع بعض البروتينات في الجلد، والنتاج المعقد هو الذي سيصبح أنتيجين.

ولو أن الجزيئات الكبيرة فقط هي التي تنبه الميكانيكية المناعية، فإن الأجسام المضادة

التي تتكون تتحد مع بروتين صغير، المحدد، للأنتيجين، والتفاعل بين الأثنين يكون محدداً بدرجة مذهلة. ويمكن لجهازنا المناعي أن يصنع الأجسام المضادة التي يمكنها أن تميز بين إنسولين الخنزير وإنسولين الإنسان (حيث يوجد حمض أميني واحد فقط من ٥١ حمض مختلف) وحتى بين الجالاكتور الموجود في محدد (Determinant) (مشابهات Isomers) متماثلة تماماً في كل شيء فيما عدا في توجيه مجموعة (يد-)، (-أيد) (أنظر الشكل ٤-٩).

توجد مجموعة واحدة من الجزيئات الكبيرة لا تعمل كأنتيجينات، وهي جزيئات كبيرة من مكونات الجسم العادية. فنحن نصنع أجساماً مضادة لاستجابة لحقن البيومين من البقر ولكن لا نصنع تلك الأجسام المضادة لاستجابة للبيومين الإنسان. والسبب هو أن جزيئات البيومين في أي إنسان لها نفس تركيب جزيئات البيومين في أي إنسان آخر. لذلك لا بد لنا من إضافة شرط جديد حتى يمكن للجزء الكبير أن يعمل كأنتيجين وهو فقط أن يكون غريباً عن الجسم.

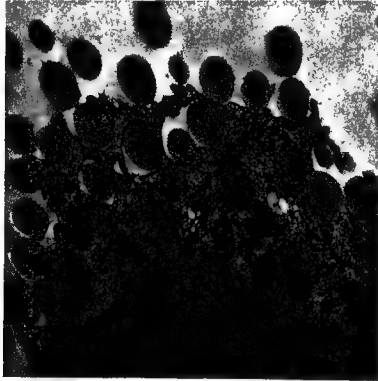
ولو أن البشر (Humans) يشتركون في جزيئات كبيرة كثيرة، لكن كل منا يمتلك جزيئات كبيرة أخرى خاصة (Unique) به فقط (إلا في حالة وجود توأم متماثل). وهذا هو سبب مهاجمة طعوم (grafts) من الجلد (أو أي عضو) من فرد إلى آخر بالجهاز المناعي للفرد المستلم بينما في حالة طعم من جزء من الجسم إلى جزء آخر في نفس الفرد فإنه لا يهاجم. ولهذا فإن الجهاز المناعي يميز بين الشخص "Self" وغير الشخص "Nonself".

## ٢٤-٦. كيف تظهر الأجسام المضادة؟ HOW ARE ANTIBODIES ELICITED ?

تم إجراء كمية هائلة من الأبحاث لكن توضح جميعها الخطوات التي تحدث ابتداء من دخول الجسم الغريب (الأنتيجين) في الجسم وحتى إبتداء تحليل الجسم المضاد. ويمكن الآن إجراء كل العملية معملياً (في أنبوبة اختبار). ويوجد نوعان من الخلايا نحتاج إليهما غالباً، هما الخلايا الأكولة (Phagocytes) وهي النسيج المائل للمونوسايتات أي كرات الدم البيضاء الكبيرة (Monocytes) (الشكل ٢٣-١١)، والكريات الليمفاوية أو الليمفوسايتات (Lymphocytes). والخطوة الأولى في العملية هي ابتلاع الجسم الغريب (الأنتيجين) بخلايا الدم الأكولة

(الفاجوسايتات) (الشكل ٢٤-١١)، وما يحدث بعد ذلك لا يزال غير مؤكد، ولكن بطريقة ما فإن كريات الدم الأكولة تتفاعل مع كريات الدم الليمفاوية.

ويمكنك أن تدعى، كما فعل الكثيرون في وقت من الأوقات، بأن الخلايا الأكولة تأمر الخلايا الليمفاوية ماذا يمكنها أن تفعل في الخطوة التالية لتخليق الجسم المضاد. ولكن بكل تأكيد ليست هذه هي الحقيقة. إذ يوجد دليل كاف على أنه قبل إدخال الجسم الغريب (الأنتيجين)، فإن الجسم يكون به بالفعل خلايا ليمفاوية قادرة على التعرف على هذا الجسم الغريب (الأنتيجين). والخلايا الليمفاوية توضح هذه القدرة بالاتحاد الحقيقي بالأنتيجين، وربما بعد أن يكون هذا الأخير قد تمت معالجته بطريقة ما بالخلايا الأكولة. ويحدث التفاعل بين الخلايا الليمفاوية و الأنتيجين عند مستقبلات موجودة على سطح الخلايا والتي تكون من المحتمل متاثلة (على الأقل في موقع الالتحام أو الاتحاد) مع جزيئات الجسم المضاد والتي تظهر أخيرا في الدم.



الشكل ٢٤-١١: خلية ملتهمة (فاجوسايت) في خنزير غينيا تبتلع حبوب بوليستيرين. توجد حبوب عديدة محاطة بالفعل في فراغات، بينما حبوب أخرى في طريقها إلى الابتلاع (مكبرة ٢٠,٠٠٠ بتصريح من دكتور روبرت ج. نورث).

شكل ٢٤-١٧: أعلى:

أوتوراديوجراف خلية عقدية  
ليمفاوية التصق بها جزئيات  
أنتيجن مشعة أدخلت هذه  
الخلية من فأر غير منيع.  
أسفل: بعد خمسة دقائق من  
الحقن عند درجة حرارة  
٣٧°م، تجمع النشاط المشع  
في منطقة واحدة. ويدل هذا  
على أن مستقبلات ربط -

الأنتيجين بالخلية حرة في  
المهجرة على سطح الخلية.  
لاحظ الخلايا الأخرى التي لم  
ترتبط بأي أنتيجن مشع.  
ربما كان لها مستقبلات  
لأنتيجينات أخرى. والعمل  
المصور هنا يمثل امتدادا  
لاكتشاف أدا (Ada) وبيرت  
(Byrt) (يستمرح من ي.  
دينر، ل. ه. بيتكو، مجلة  
أكاديمية العلوم الوطنية،  
الولايات المتحدة الأمريكية،  
٦٩: ٢٣٦٣-٢٣٦٨،

سبتمبر ١٩٧٦).

ولتفحص الآن تجربتين من تلك التجارب اللتان تؤديان إلى هذه الخاتمة الرائعة.  
فمنذ عدة سنين مضت، قام عالما المناعة الأستراليان أدا (Ada)، بيرت (Byrt) بتجريب  
أنتيجين شديد الأشعاع. وعند مزج هذا الأنتيجين مع خلايا ليمفاوية مأخوذة من فأر  
لم يسبق تعرضه من قبل لأي أنتيجين، فإن هذا المزيج قد التصق بنسبة مئوية صغيرة  
(٠,٠٢٪) من الخلايا (الشكل ٢٤-١٧)، إذ كان الأشعاع المتبقي من التعداد الأصلي  
إلى فأر قد سبق تدمير جهازه المناعي (بأشعة أكس)، كان هذا الفأر غير قادر على تخليق  
أجسام مضادة للأنتيجين الأصلي. وعلى أية حال، كان الفأر قادرا تماما على تخليق  
أجسام مضاد ضد أي أنتيجين آخر، وحتى ضد تلك الأنتيجينات القريبة التشابه.

لذلك يبدو أن الفأر الغير منيع كان يمتلك بالفعل بعض الخلايا الليمفاوية التي تحمل مستقبلات مشابهة للجسم المضاد (Antibody like) والتي على إستعداد لاكتشاف والتعامل مع المحدد الأنتيجيني المستجيب عندما وكلما ظهر.

وفي عام ١٩٧٢م، بين العالم إيلمان (Edelman) ومساعدوه في جامعة روكفلر وجود خلايا متفاعلة - أنتيجينيا (Antigen-reactive) في الفأر عديم المناعة وذلك بطريقة عملية أخرى. فلقد الصقوا أنتيجين بسطح ألياف نيلون ثم وضعوا تلك الألياف في طبق يحتوي على خلايا طحال (معظمها خلايا ليمفاوية) مأخوذة من فأر غير منيع، فالتصقت نسبة مئوية ضئيلة (نحو ١٪) بتلك الألياف، دلالة على وجود جزيئات تكميلية من مشابه الجسم المضاد على سطحها (الشكل ٢٤-١٣) وفي الحقيقة، بمجرد

الشكل ٢٤-١٣: خلايا

طحال فأر (ليمفوسايتس)

ملتصقة بسطح ليفة نيلون

مغلقة بأنتيجين. لا تلتصق

الخلايا (١) إذا كانت ليفة

النيلون لها أنتيجين ملتصق

بها؛ (٢) إذا عرضت الخلايا

مسبقا لنفس الأنتيجين في

محلول (وبذلك تمتليء كل

المستقبلات)؛ (٣) إذا

عرضت الخلايا من قبل

لأجسام مضادة ضد أجسام

الفأر المضادة (وبذلك تقترح

أن المستقبلات هي، في

الحقيقة، جزيئات جسم

مضاد (بتصريح من ج. م.

ايلمان من يو. رايتشاورز،

س. ف. ميليت، ج. م.

ايلمان، مجلة أكاديمية العلوم

الوطنية، الولايات المتحدة

الأمريكية، ١٩٥: ٦٩،

(١٩٧٦).



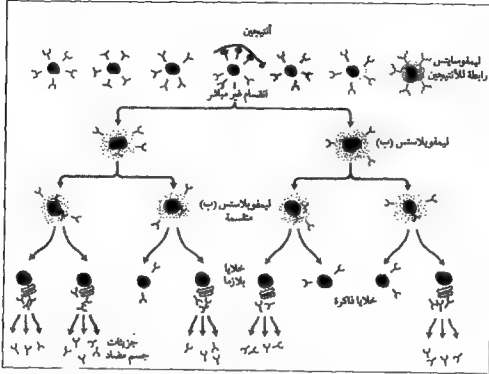


الشكل ٢٤-١٤: في هذه الصورة خلية طحال قار ملتصقة بليفة نيلون مغلقة بأنتيجين والتي كانت معرضة لخلايا دم جراء من خروف مغلقة بنفس الأنتيجين. والنتائج (كما في شكل ٢٤-١٢) تقترح أن مستقبلات الخلية المرتبطة بالأنتيجين موزعة على كل السطح. خلايا دم الخروف الحمراء الغير معاملة لاتلتصق بخلية الطحال هذه. (بتصريح من ج. م. اينلاند، من نفس المقالة كالموجودة في الشكل ٢٤-١٣).

الالتصاق، فان باقي سطح الخلية كان لا يزال قادرا على التفاعل مع أجسام غريبة ( أنتيجينات ) إضافية (الشكل ٢٤ - ١٤) . وعلى أية حال ، إذا ما كانت الخلايا قد عوملت من قبل بجسم غريب ( أنتيجين ) أو بأجسام مضادة موجهة ضد الأجسام المضادة للفقار ( مضادات - الأجسام المضادة Anti-antibodies) فان أي التصاق لم يكن قد حدث .

وبمجرد أن يلصق الأنتيجين نفسه بمستقبل الخلية الليمفاوية المناسبة تنتبه هذه الخلية وتنقسم (الشكل ٣٤-١٥) إنقساماً غير مباشر، مكونة مجموعة متماثلة (Clone) من الخلايا القادرة على تخليق هذا الجسم المضاد بالذات الذي يتكون. والفكرة بأن مجاميع الخلايا المتماثلة (Clones) المنتجة للأجسام المضادة قد تكونت ليس عن طريق الأوامر ولكن كنتيجة للتنبيه الانتخابي لخلايا موجودة مسبقاً (Preexisting) يطلق عليها اسم نظرية إنتخاب المجموعة المتماثلة (Clonal Selection).

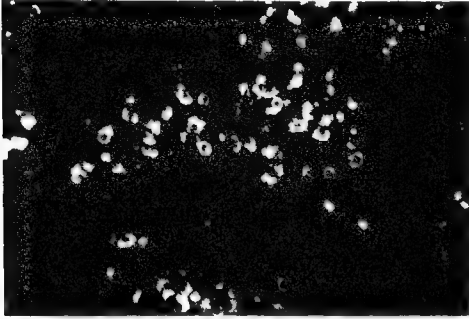
ومتطلبات التمثيل الغذائي للأنقسام الغير مباشر كبيرة جداً بحيث لا يمكن تخليق



الشكل ٢٤-١٥ : رسم تخطيطي لنظرية اختيار الكلون. الاختيار الكلوني يؤدي إلى إنتاج خلايا بلازما مفرزة للجسم المضاد ومجموعة (Pool) مكبرة من خلايا معينة حساسة للأنتيجين (ذاكرة). والشكل المحدد الذي يقدم فيه الأنتيجين للخلايا الحساسة للأنتيجين غير معروف.

الكثير من الأجسام المضادة أثناء فترة الانقسام. ولكن يأتي الوقت الذي تتوقف عنده الكثير من خلايا المجموعة المتماثلة (Clone) عن الانقسام وتبدأ في إنتاج الكثير من الأجسام المضادة. وتنشأ شبكة إندوبلازمية خشنة كبيرة (أنظر قسم ٥-٨) ويسرعة تعمل الخلية على خلق مركب بروتيني رئيسي هو: الجسم المضاد. ومثل تلك الخلية تسمى خلية البلازما (Plasma Cell). وبعد التجمع في جهاز جولجي (حيث يضاف بعض من الكربوهيدرات) يفرز الجسم المضاد من الخلية بواسطة خاصية طرد المواد خارج السيتوبلازم (Exocytosis).

ويوضح الشكل (٢٤-١٦) خلايا بلازمية مأخوذة من طحال أرنب إكتسب المناعة بالشكل النموكوكسي الثالث (٣). ولقد عوملت الخلايا البلازمية أولاً بالشكل (٣) عديد السكريات، ثم بمضاد- الشكل (٣) من الأجسام المضادة والتي تم مزجها بصبغة مضئية (فلوريسين). وبرؤيتها تحت الضوء الفوق بنفسجي، تظهر كل خلية



الشكل ٢٤-١٦ : خلايا بلازما محتوية على جسم مضاد من طحال أرنب تمت مناعته بالشكل III من النيموكوكسي. عوملت هذه الخلايا أولا بالأنتيجين للشكل III عديد السكريات النيموكوكسي، ثم بمضاد الشكل III من الأجسام المضادة المتصقة بصيغة مضبئة. وبرؤيتها تحت الضوء الفوق بنفسجي، تلمع بشدة تلك الخلايا البلازمية الصائمة للأجسام المضادة ضد الشكل III. (بتصريح من دكتور البرت هـ. كوزن).

تقوم بصنع مضاد - الشكل (٣) براءة وذات لمعان شديد.

وما هو الاحتمال في أن تلك الخلايا القليلة من الخلايا الليمفاوية القادرة على التعرف على محدد أنتيجيني معين ستصدام في الواقع مع الأنتيجين الحامل لهذا المحدد ؟ ربما نتوقع أن يكون هذا الاحتمال طفيفا جدا ولكنه في الواقع عال بعض الشيء، لأن الخلايا الليمفاوية (ب) والخلايا الليمفاوية (ت) تهاجر داخل وخارج العقد الليمفاوية، الليمف النازح من عقدة لا يحتوي فقط على أية أجسام مضادة تم تخليقها داخل لعقدة ولكنه يحتوي أيضا على عدد قليل من الخلايا الليمفاوية (ب) وعدد كبير من لخلايا الليمفاوية (ت). وترجع هذه الخلايا إلى الدم في الأوردة التحت ترقوية، ومن هناك تتوزع في جميع أنحاء الجسم. والعقد الليمفاوية - مثل أي نسيج آخر - يتم تغذيتها بالدم الشرياني. وعندما تجد الخلايا الليمفاوية نفسها في وريد صغير يصرف م شعيرات العقدة الليمفاوية، فإنها تهاجر خلال جدر تلك الأوردة الصغيرة وتأخذ لها

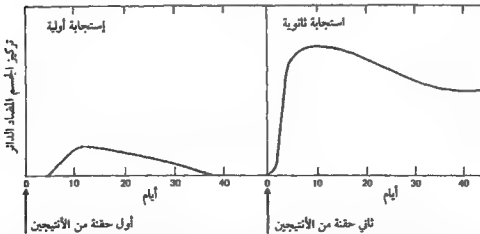


سكنا مؤقتا في العقدة. وحركة المواصلات الصعبة هذه للخلايا (ب)، (ت) داخل وخارج العقد الليمفاوية تزيد من احتمالات أنه عندما يدخل جسم غريب (أنتيجين) الجسم، فالخلايا المناسبة (ب)، (ت) ستقوم بالتصادم معه.

## ٢٤-٧. الاستجابة الثانوية: THE SECONDARY RESPONSE

بعد الشفاء من الإصابة، يقل تركيز الأجسام المضادة ضد الكائن المرضى بالتدريج على مدى عدة أسابيع، أو أشهر، أو حتى سنين، وقد يأتي الوقت الذي لا يكتشف فيه أي جسم مضاد. فهل هذا يعني أن الشخص في خطر ثانية من الإصابة بالمرض؟ في كثير من الحالات، لا. فبينما نجد أن إنتاج مستوى محسوس من الأجسام المضادة عند أول تعرض للأنتيجين يحتاج في المتوسط إلى أربعة أو خمسة أيام، فإن إعادة التعرض - وحتى بعد عدة سنين - تحتاج إلى استجابة أسرع وأكبر للجسم المضاد (الأنتيجين)، وتسمى هذه بالاستجابة الثانوية (Secondary Response) (الشكل ٢٤-١٧).

فما هي الآلية التي تعمل هنا؟ يبدو أن المفتاح هو وجود، أثناء فترة التدخل، تعداد أكبر من الخلايا الليمفاوية الحساسة للأنتيجين - Antigen Sensitive (خلايا الذاكرة Memory cells) عما كان موجودا قبل الاستجابة الأولية. وأثناء النشوء الأول



الشكل ٢٤-١٧: إنتاج الأجسام المضادة أثناء حدوث استجابة نموذجية أولية (يسار) وثانوية (يمين). والوقت اللازم لحدوث الاستجابة يختلف تبعاً لعوامل مثل طبيعة الأنتيجين والطريقة التي يتعامل بها الأنتيجين مع الحيوان.

للمجماميع المتماثلة (Clones) ، فان بعض الخلايا الجنينية لا تنقسم أو تتحول إلى خلايا ليمفاوية صغيرة تحمل نفس جزيئات الجسم المضاد على أسطحها مثل الذي كانت تحمله سلفها (الشكل ٢٤-١٥) وهذه الطريقة ، فان العدد الكلي لمثل هذه الخلايا الحساسة - للأنتيجين يزداد بالضرورة وبذلك يضع الأساس لاستجابة أكبر. (وبالتالي يتم اكتشافها بسرعة) في المرة التالية التي يظهر فيها الأنتيجين. ويؤيد هذه الفكرة الاكتشاف الذي أظهر أنه عند مزج خلايا طحال فأر ذو مناعة بألياف النيلون المغلفة بالأنتيجين المناسب يزداد عدد الخلايا التي تلتصق (وهذه ليست خلايا مفرزة - للجسم المضاد).

ولا تحتاج الاستجابة الثانوية إلى حوض (Pool) من خلايا الذاكرة فقط ، ولكن لابد من أن يكون لهذه الخلايا عمر طويل إذا افترضنا أنها لن تنقسم مطلقاً ثانية إلا إذا صادفها الأنتيجين المناسب. ويبين عدد من الدراسات أن بعض الخلايا الليمفاوية التي تدور من العقد الليمفاوية إلى الدم والعودة ثانية هي ، في الحقيقة ، ذات عمر طويل. ويوجد دليل في الإنسان أن بعض الخلايا الليمفاوية الصغيرة تعيش لمدة قد تصل إلى ٢٠ سنة.

وتمدنا الذاكرة المناعية بالأساس الرئيسي لاستخدام اللقاحات (Vaccines) ، وهي مستحضرات من كائنات سامة أو ممرضة والتي تم تغييرها بحيث لا تسبب أية أمراض. والتغير ليس ، على أية حال ، عنيفاً بحيث أن الأجسام المضادة الناتجة إستجابة للمادة المتغيرة لن تحمى ضد الكائن الغير متغير والمسبب للمرض. ويعنى هذا في العادة أن التغير لا بد وأن يترك بعضاً من المحددات الأنتيجينية سليمة. ويستخدم الفورمالين غالباً لجعل البكتيريا والفيروسات غير ممرضة بدون إتلاف كل المحددات الأنتيجينية ، ويحضر لقاح سالك لشلل الأطفال بهذه الطريقة.

وأول مصطلح علمي تم تصنيعة بواسطة الطبيب الأنجليزي إدوارد جينر (Edward Jenner) عام ١٧٩٦ م ، وصنع تاريخاً طويلاً يحقن إنسان ببادة عصرت من بثرة في فتاة أصيبت بجديري البقر ثم ، بعد عدة أشهر ، ببادة من بثرة إنسان مصاب بالمرض المخيف الجدري ، وبقي هذا الإنسان سليماً جداً. وأجرى جينر هذه التجربة الجريئة لأنه (وغيره) لاحظ لمدة طويلة أن الفتيات اللاتي تعرضن للجديري بسبب طبيعة عملهن كانت عندهن حماية من الإصابة بالجديري. واليوم نحن نعرف أن أنتيجينات

فيروس جدري البقر مشابهة تماما لأنتيجينات فيروس الجدري وتعتبر المناعة ضد أحدهما حماية ضد الآخر .

وربما تكون قد حصنت باللقاحات لمرض الجدري وشلل الأطفال، وكذلك باللقاح الثلاثي للتيتانوس والدفتيريا والسعال الديكي . وكان لابد لك أيضا من أن تكون قد حصنت ضد الحصبة والغدد النكفية والحصبة الألمانية (الروبيلا) .

وكان التحصين ضد الجدري ناجحا للدرجة أنه لم تكتشف حالات طبيعية لهذا المرض على وجه الأرض منه ما حدث لانسان يسمى على ماوولين (Ali Maow) وهو طباط في الصومال الذي أصيب بهذا المرض في أكتوبر ١٩٧٧م وشفي منه تماما . وأعلنت هيئة الصحة العالمية (WHO) رسميا أن العالم أصبح أخيرا خاليا من الجدري تماما . واستتصال ماكان يعتبر في يوم من الأيام أحد مصائب الأنسانية (وهو الجدري) هو مثال للنصر الذي يدل على كيفية استخدام المعرفة الحيوية (البيولوجية) والتي يمكنها تحسين وسائل الحياة الأنسانية .

#### ٢٤-٨. الأساس الوراثي لتنوع الأجسام المضادة:

##### THE GENETIC BASIS OF ANTIBODY DIVERSITY

ولو أنه لا يعرف أحد تماما كم نوعا مختلفا من جزيئات الجسم المضاد يمكن للانسان أن يخلقه، فإنه يوجد دليل يقترح على أنها ما بين (١٠<sup>٩</sup>)، (١٠<sup>١٠</sup>)، ويمكننا أن نوازن ونستخدم العدد المليون (١٠<sup>٦</sup>) كرقم ، وهذا يخلق مشكلة عميرة فورية في الوراثة . فالأجسام المضادة بروتينات وجميع الدلائل تدل على أنها تخلق بنفس ميكانيكية DNA ← mRNA ← عديد الببتيدات والمستخدم لجميع البروتينات الأخرى . أي يمكن القول، بأن المعلومات عن جزيئات الجسم المضاد مخلفة في (DNA) كما هو الحال في الهيموجلوبين، والليزوزيم، وغيرها . وفي الباب الثالث عشر، قدرنا أن الانسان عنده دليل (DNA) يمكنه أن يحوي دليل ٣٠-٤٠ ألف بروتين مختلف . ويجب توضيح تلك العضلة: كيف يمكن للنظام الجيني (Genome) لعدد ٣٠-٤٠ ألف جين عمل دليل مصطلحات المليون نوع مختلف من جزيئات الجسم المضاد (لاداعي لذكر جميع البروتينات الأخرى والتي تصنعها) .

ويظهر الحل الممكن الوحيد للمشكلة عندما نتأمل ثانية تعقيدات تركيب جزيئات الجسم المضاد في السلسلة الخفيفة - السلسلة الثقيلة . فإذا ما برمج (Encode) جين واحد عديد ببتيدات واحد (أنظر قسم ١٣-٢)، فانا عندئذ نحتاج إلى جين واحد

منفصل لكل سلسلة. ولكن بدلا من زيادة عدد الجينات المطلوبة، فإن ذلك قد يقللها. فإذا ما أمكن (١٠٠٠) سلسلة مختلفة خفيفة، ١٠٠٠ سلسلة مختلفة ثقيلة أن تتحد بطريقة عشوائية لإنتاج جزيء جسم مضاد فعال، فإننا عندئذ نفترض أننا نحتاج إلى ٢٠٠٠ جين فقط لعمل دليل اصطلاحي (برمجة) (Code) للمليون جزيء جسم مضاد ( $10^6 \times 10^3 = 10^9$ ). ومنذ عشر سنوات مضت، شعر الكثير من علماء المناعة أن ٢٠٠٠ جين تعتبر قطعة صغيرة لتقوم بهذا الجهاز الهام وأنه ربما توجد آلاف من الجينات جاهزة (ميسرة) لتخليق الجسم المضاد.

ويمكن حتى للحمل الوراثي أن يصبح أصغر إذا ما أمكنك إيجاد الافتراض الأبعد وهو أن الـ ٢٠٠٠ جين التي نحتاج إليها لعمل الدليل الاصطلاحي خصائص ٦٠ جسم مضاد تستطيع فقط أن تعمل هذا الدليل الاصطلاحي لعدد (٧) مناطق، (٧) منطقة تمثل نصف السلاسل الخفيفة وربع فقط السلاسل الثقيلة. فإذا ما افترضت جينات منفصلة (Separate genes) للمناطق (٧) والمناطق (٢) فيمكنك إذن أن تستمر مع حفنة من جينات المنطقة - C (مثل هذا الاحتمال - والذي أتضح أنه هو الوضع - يجبرنا على أن نحور ونعدل نظريتنا من جين واحد لكل عديد الببتيد إلى جين لكل عديد الببتيد ١).

وتوجد مشكلة أخرى، فالجهاز المناعي يمكنه تصنيع جزيئات جسم مضاد قادرة على الارتباط فعلا بأي مادة غريبة ذات ثلاثة أبعاد متناسقة تقدم إليها ويشمل هذا جزيئات لم يسبق لها أن تصادمت أثناء دور تطور الفقاريات، إلى أن تمكن عالم كيمياء عضوية من تخليقها. وكيف يمكننا أن نفسر إبقاء جينات لأجسام مضادة في المجموع الجيني ضد الجزيئات التي لم يسبق للفقاريات أن تعرضت لها من قبل؟

والحل الممكن لهذه المشكلة هو أن نفترض أن الجهاز المناعي في فرد من الأفراد له القدرة على الاستمرار في تجميع واختبار أنواع جديدة من المناطق (٧) أثناء طول حياة الإنسان. ومثل هذا المولد الجسدي (Somatic) للتنوع (التعدد)، يمكن أن يكون له الأثر في قدرة الحيوان على تصنيع مواقع ربط أنتيجينية لأي تناسق جزيئي، حتى إذا لم يكن قد سبق للنوع التصادم معه.

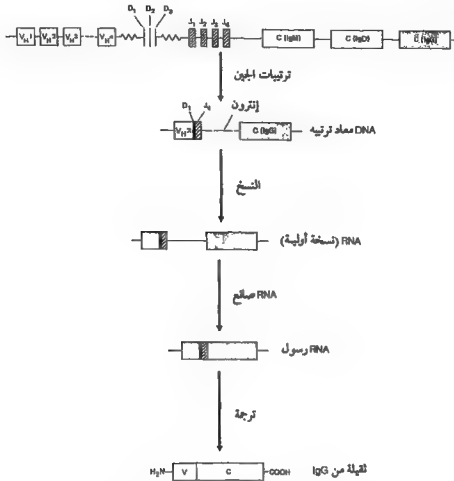
ولقد نجح التقدم الحديث في علم الوراثة الجزيئية، الذي ذكر مبسوطا في الباب

الرابع عشر، في توضيح الآليات التي بها يتولد تنوع الجسم المضاد، كما إتضح أنه توجد وسائل ميكانيكية لها دخل في الموضوع. فيوجد عدد كبير من الجينات التي تعمل الدليل الاصطلاحي للمناطق (V) ولكن العدد يقدر بالمئات وليس بالآلاف. وتوجد حفنة قليلة (نحو ١٢) من الجينات التي تعمل الدليل الاصطلاحي للمناطق (C). وأثناء التشكل (الاختلاف) في الخلايا الليمفاوية (ب)، فإن المعلومات الوراثية لمنطقة (V) واحدة وجين واحد في المنطقة (C) تتحد في وحدة واحدة للنقش (الكتابة) في (mRNA) (الشكل ٢٤-١٨)، وتحدث هذه العملية بصورة مستقلة لسلسلة ثقيلة وأخرى خفيفة. وفي الحقيقة، فإن جينات السلاسل الثقيلة وكذلك جينات السلاسل الخفيفة توجد على كروموسومات منفصلة.

وأظهرت تجمعات (DNA) وطرق دراسة التتابع عدة آليات والتي بها يمكن لعدة مئات قليلة من الجينات في المناطق (V) أن تتسبب في ظهور العديد من خواص الجسم المضاد. فالـ (DNA) الذي يعمل الدليل الاصطلاحي للمنطقة (V) في السلاسل الثقيلة يكون مكدساً في ثلاث حلقات منفصلة: (١) حلقة كبيرة (V) والتي تعمل الدليل الاصطلاحي للأحماض الأمينية في المنطقة (V) (تقريباً نحو ٩٨ منها) لأعلى حتى إبتداء ثلث المنطقة الفوق متغيرة؛ (٢) واحدة متغيرة (D) والتي تعمل الدليل الاصطلاحي لعدد قليل من الأحماض الأمينية في المنطقة الثالثة الفوق متغيرة وميزان المنطقة (V) وهذه الحلقة من الـ (DNA) تسمى بحلقة الالتحام أو (الحلقة J) لأنها تعمل في خلايا البلازما على إلتحام المنطقة (C) بالمنطقة (V) (الشكل ٢٤-١٨).

وتعمل حلقة الجين (D) وكذلك جزء من حلقة الجين (J) الدليل الاصطلاحي للمنطقة الثالثة الفوق متنوعة - وهي منطقة تلعب دوراً رئيسياً في تحديد خاصية الربط - الانتيجيني للجسم المضاد. ويوجد عدد (ربما ٦) من مناطق (J) المختلفة يمكن الحصول عليها، وهذه تبدو على أنها قادرة على الإلتحام مع أي منطقة (V) ولم يعرف بعد عدد الحلقات (D) الموجودة، ولكن لو كان هذا العدد صغيراً، فالقدرة على الترتيب العشوائي لحلقات هذه الجينات تزيد بشدة فرص صنع مواقع مختلفة للالتحام - الانتيجيني.

والموقف بالنسبة للسلاسل الخفيفة ليس بهذا التعقيد، ففي مناطق (V) في السلسلة



الشكل ٢٤-١٨: تنظيم الجينات وحلقات الجينات المستخدمة في تكوين السلسلة الثقيلة لجزيء IgG وإعادة ترتيب الجين يجمع أحد الجينات v الكثيرة، وواحد من العديد من حلقات الجينات J, D، وواحد من أربعة جينات C لأجل IgG. ونسخ وإنتاج RNA ينتج جزيئات mRNA والتي تترجم فيها السلسلة الثقيلة. الانترونات العديدة التي تشق Split الجينات C لا ترى في الشكل.

الخفيفة يتم عمل الدليل الاصطلاحي بواسطة الجين (V) وواحد من أربعة جينات (J) مختلفة. وحتى هنا، فإن فرصة الالتحام بأربعة حلقات من جينات مختلفة من (J) مع ١٠٠ جين (V) مختلف يعطى ٤٠٠ سلسلة خفيفة مختلفة.

وفي الخلايا التي تنتج أجساماً مضادة، فإن أجزاء الـ (DNA) التي تكون الدليل الاصطلاحي للمناطق C, J, D, V تكون موجودة في مناطق منفصلة. وفي خلية البلازما، على أية حال، فالـ (DNA) المكون للدليل الاصطلاحي لـ D, V, J, D, V فقط في السلاسل الخفيفة) يكون أمتداداً مستمراً للنقش (الحفز) في الـ (mRNA) وعلى أية

حال، فالنقطة بالضبط التي تتحد عندها مع بعضها البعض الـ (DNA) للمناطق J, D, V يمكن أن تختلف عند القليل من النيوكليوتيدات (Nucleotides) ويزودنا هذا بفرض أكبر للتنوع التركيبي في المنطقة الثالثة فوق - متنوعة، عن طريق إدخال تغيرات في طولها وتتابعها.

وإذا ما كان هذا غير كاف، فيوجد الآن دليل واضح على أن الطفرات النقطية الجسمية تساهم أيضاً في تنوع الأجسام المضادة. وتحتوي الجينات (J) المتجمعة من الخلايا البلازمية عادة على تغيرات قليلة من النيوكليوتيد والتي لا توجد في النسخة Version الجينية لهذه الجينات. وكثير من هذه التغيرات النيوكليوتيدية مبرجة إصطلاحياً لعدد مختلف من الحمض الأميني مع أغلب بدائل الحمض الأميني الموجود في المناطق الثلاثة فوق - متنوعة.

وبينما يبقى الكثير من التفاصيل التي يراد الكشف عنها، فالأساس الوراثي لتنوع الجسم المضادة أصبح الآن واضحاً. وباستخدام كمية متواضعة فقط من الـ (DNA) فإن تعداد الخلايا الليمفاوية في الجسم يمكنه تجميع جزيئات جسم مضاد قادرة على الارتباط مع أي حاسم أنتيجيني حقيقي والذي قد يتعرض له الجهاز المناعي. ويمكن للخلايا الليمفاوية أن تفعل ذلك بالوسائل التالية:

- ١ - تجميع مجاميع مختلفة من الحلقات الجينية للـ J, D, V (للسلاسل الثقيلة)، والحلقات V و D (للسلاسل الخفيفة).
- ٢ - تقديم طفرات نقطية في الحلقات الجينية J, D, V عندما تنتج هذه بدائل الحمض الأميني في المناطق فوق - مختلفة، وتنشأ أماكن ارتباط أنتيجيني متغيرة.
- ٣ - اتحاد أجزاء مختلفة من السلاسل الثقيلة والخفيفة عند صنع جزيء الجسم المضاد المتكامل. وتساهم كلا من السلاسل الثقيلة والخفيفة في تكوين موقع (مكان) الارتباط - الأنتيجيني.

وقد بين اكتشاف الأساس الوراثي لتنوع الأجسام المضادة عواقب قد تذهب أبعد من الجهاز المناعي. وبكل تأكيد، فقد بين هذا الأساس الوراثي أن المجموع الجيني (الجينوم) هو مكان أكثر حيوية عما كان يتصوره أي أنسان. وهل تعيد

الأنواع الأخرى من الخلايا ترتيب جيناتها أثناء تشكلها (Differentiation) ؟ لا أحد يعرف ذلك حتى الآن. وربما أن للتحكم الوراثي للأنسجة المناعية طابع خاص مميز؛ ربما لا. ومهما تتمحض عنها الأجابة ، فاننا لم نعد ننظر إلى المجموع الجيني (genome) في كائن من الكائنات على أنه موسوعة مخفورة في حجر.

#### ٩-٢٤. زراعة الأنسجة وخصوصية الفرد:

#### TRANSPLANTATION AND THE UNIQUENESS OF THE INDIVIDUAL

تطلبت أولى المحاولات الجادة في المجال الطبي لزراعة أنسجة حية من إنسان إلى إنسان آخر نقل الدم إلى الضحية التي عانت معاناته شديدة من فقد الدم. وكانت الطريقة أحيانا ناجحة، وأحيانا أخرى تركت أزمة خطيرة، وأحيانا مميتة.

وفي عام ١٩٠٠، إكتشف كارل لاندشتاينر (Karl Landsteiner) توضيحاً لتلك النتائج غير المستقرة، إذ وجد أن مواد أنتيجينية قد تكون موجودة على سطح الخلايا الدموية الحمراء. وأوائل الخلايا التي تم إكتشافها بواسطة هذا العالم هي الأنتيجينات (أ)، (ب). فالأفراد الذين يحملون خلايا الدم الحمراء وبها الأنتيجين (أ) يقال عنهم أن عندهم مجموعة دم (أ)، الأفراد الذين يحملون الأنتيجين (ب) يتبعون مجموعة الدم (ب). وعند بعض الأفراد كلا الأنتيجينين (مجموعة أب) وغيرهم والذين يتبعون المجموعة (O) لا يحملون أية أنتيجينات (الشكل ٢٤-١٩).

وعند إحضار خلايا دم حمراء تحمل أحد أو كلا الأنتيجينات في ملامسة الأجسام المضادة الماثلة، فانها تتجمع (أي تلتصق مع بعضها البعض) (الشكل ٢٤-٢٠). ويمتلك الأفراد عادة أجساما مضادة ضد أنتيجينات الخلايا الحمراء هذه التي يفقدونها. ويوضح الشكل (٢٤-١٩) ذلك ويظهر ماهي مجاميع الدم التي يمكن نقلها أو عدم نقلها (للمريض) بأمان. والقاعدة الأساسية التي لا بد من ملاحظتها أن الدم الذي ندخله داخل الجسم لا يجب أن يحتوي على خلايا دم حمراء والتي يمكن للأجسام المضادة في المريض أن تعمل على تجمعها (تكتلها). وليس من الخطورة الشديدة إذا إحتوى دم المتبرع على أجسام مضادة ضد خلايا الدم الحمراء في المستلم لدم المتبرع ، لأن تلك الأجسام المضادة ستخفف بسرعة بالبلازما التي تمت فيها عملية الأذخال. وعموما، سميت مجموعة الدم (O) بالمتبرع الشامل (Universal) لأن



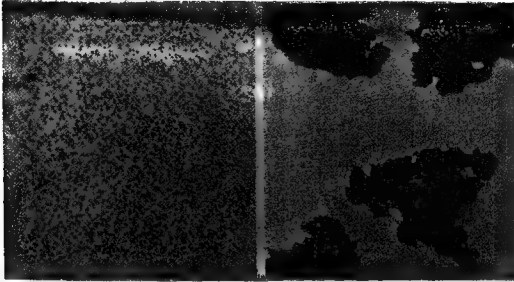
الشكل ٢٤-١٩. مجاميع دم لاند شتاينر (أب و- (ABO) والطرز الجينية التي تنشأ عنها كل مجموعة.

مجموعة الدم	تقريباً % في تعداد الولايات المتحدة	الأنجيكتات على خلايا الحمراء	الأجسام المضادة في البلازما	امكانية التبرع الى
أ	٤٢	أ	ضد-ب	أ، أب
ب	١٠	ب	ضد-أ	ب، أب
أب	٣	أ+ب	لا شيء	أب
٠	٤٥	لا شيء	ضد أ، ضد ب	أ، ب، أب

امكانية أخذ الدم من	الطرز الجينية
أ، ٠	أ أ
ب، ٠	ب ب
أ، ب، ٠	أ ب
٠	٠ ٠

خلايا الدم الحمراء (O) لا يمكنها التجمع وتصبح الأجسام المضادة بسرعة مخففة بواسطة بلازما المستلم. ومثابها لذلك، فإن الدم (أب) يسمى بالمستلم الشامل (Universal recipient) لأنه لا يحتوي على أجسام مضادة تجعل خلايا الدم الحمراء التي أدخل فيها دم المجموعة المذكورة (أب) تتكتل. وعملياً، على أية حال، يفضل الأطباء اختبار مجاميع الدم بالضغط عند القيام بعملية نقل دم، ومجاميع دم لاند شتاينر تورث، ويتحكم في المجموعة جينان متضادان (Two Alleles) أحدهما مورث من كل من الأبوين. وعلى أية حال، توجد ثلاثة جينات متضادة، أ، ب، ٠، موجودة في التعداد ككل. ويوضح الشكل (٢٤-١٩) الطرز الجينية (genotypes) التي تنتج كل مجموعة من مجاميع الدم. وعلى سبيل المثال، فالأفراد الذين يحملون أيا من AO أو AA يكون عندهم أنتيكتينات أ على خلايا الدم الحمراء وبالتالي مجموعة أ. وفقط الشكل الجيني أب ينتج كلا الأنجيكتين أ، ب ومعنى ذلك مجموعة الدم أب.



الشكل ٢٤-٢٠ : خلايا دم حمراء قبل (يسار) وبعد (يمين) إضافة السيروم المحتوي على مضاد -أ- أجسام مضادة . التفاعل التجمعي يدل على وجود الأنتيجن أ على الخلايا .

ويمكنك أن تستغرب لماذا تمتلك أجساما مضادة ضد أنتيجينات الخلايا الحمراء التي تنقصنا، والأجابة ليست مؤكدة تماما . وربما نكون معرضين لمواد (في غذائنا . أو من العدوى أو من بكتيريا تعيش في أمعائنا) والتي لها محددات أنتيجينية تشابه أ ، ب . ويجب أن نستمر في تخليق أجسام مضادة ضدهم إذا لم تتشابه مع نفسها، ولكن يجب أن نستمر في تخليق تلك الأجسام المضادة إذا تشابهت . ويكل تأكيد فإن المواد التي تحمل محددات مشابهة -أ أو مشابهة - ب تراجع من وقت لآخر، على سبيل المثال، مثل الملوثات في الأمصال .

وتعتبر عمليات نقل الدم مثالا خاصا ومحدودا لزراعة الأنسجة، وتتلشى بعد ثلاث إلى أربع أسابيع الخلايا المنقولة من المستلم . ولكن ماذا عن زراعة الأعضاء مثل، الكلية أو القلب، التي نتمنى أن تستمر حية في عائلها الجديد إلى ما لانهاية؟ في عام ١٩٥٦ م، زرعت كلية مأخوذة من امرأة شابة سليمة إلى توأمتها المشابهة لها تماما، وأنقذت حياة المستلم واليوم تعيش المرأتان في صحة جيدة . وعلى أية حال، فإنه عند زرع الكلية بين أناس ليسوا توأما متشابهة، فإن نتيجة أن يعيشوا حياة طويلة ناجحة ليست سهلة .

وإذا ما فصلنا قطعة من الجلد من فأر من سلالة معينة ووضعناها في مكان مجهز لها

على فأر من سلالة أخرى، يسير الطعم في مبدأ الأمر جيدا، إذ تنمو الأوعية الدموية للعائل في هذا الطعم، ويقوم الطعم (قطعة الجلد المزروعة) بوظائفه طبيعيا. وبعد نحو ١٤-١٥ يوما بعد العملية، على أية حال، تتحول الأمور إلى الأسوأ، إذ ينقطع إمداد الدم إلى الطعم ويتلاشى الطعم نفسه تدريجيا، وأخيرا، يسقط (ينزع) الطعم كخرقة قديمة.

والدليل على طبيعة ظاهرة الرفض هذه يمكن الحصول عليه بأجراء التجربة مرة ثانية. فإذا ما وضعنا ثانية الطعم مع الجلد من فأر من سلالة ثالثة ستكرر القصة نفسها. ولكن إذا حاولنا ثانية مع جلد من سلالة المتبرع الأصلي قد لا يستمر الطعم مدة كافية تمكنه من الحصول على إمدادات الدم، ويتم رفضه في مدة أقصر (٥-٦ أيام) وتبدو ظاهرة المجموعة-الثانية هذه وكأنها مطابقة لاستجابة الذاكرة الثانوية والتي ناقشناها سابقا.

ورفض الطعم هو استجابة لمناعة وسيط-خلوى، فالحقنة من الخلايا الليمفاوية (ت) من فأر كان قد رفض طعما لجلد (أ) يمكن الفأر المستلم من تجهيز مجموعة ثانية (Second-set) من رد الفعل ضد طعمه الأول الجلد (أ). وتتعرف الخلايا الليمفاوية (ت) على الطعم الغريب، بتشغيل خلايا أخرى في الجهاز الدورى (أساسا المونوسايتس)، تعمل على قتل خلايا الطعم.

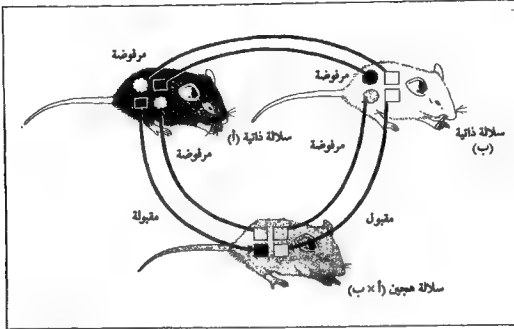
وزداد تفهمنا لطريقة رفض الطعم بأختبار حالات لم يحدث فيها الرفض. أولا، كما رأينا، فالتطعيم بين الأفراد المتماثلين وراثيا لا يرفض، ويمكن ملاحظة ذلك في توائم الإنسان المتماثلة وكذلك في سلالات الفئران والتي ربيت بين بعضها البعض (Inbred) لمدة طويلة بحيث أصبحت كل الأفراد فعلا متماثلة، حتى ولو أنهم نشأوا من بيض منفصل. [وحتى بين مثل هذه الفئران يحدث الرفض عند تطعيم جلد ذكر (Xy) على أنثى (xx) ولكن ليس العكس. وبسبب الكروموسوم Y فإن جلد الذكر عنده جينات لا توجد في جلد الأنثى وبهذا الإستثناء، فإن هذه الكائنات تعتبر متشابهة اللاحقة (Homozygous) وبذلك، فإن الأنثى ليس بها جينات غريبة عن الذكور].

فإذا ما ربينا فأرا من سلالة (أ) مرباة داخلية (Inbred) من فأر آخر مربى بنفس الطريقة من سلالة (ت)، فإن الجيل الأول الناتج (F<sub>1</sub>) يتقبل الطعم من بعضها

البعض وكذلك من أبوى كلا السلالتين (الشكل ٢٤-٢١). وعلى أية حال فإن كلا من أبوى السلالتين لن يتقبل طعاما من أفراد الجيل الأول ( $F_1$ ) وتدل هذه النتائج على أنه أينما وجدت /إختلافات وراثية، توجد أيضا إختلافات أنتيجينية. وفي هذا الضوء، يمكننا أن نرى الجهاز المناعي كجهاز يمكنه التعرف على وحدة (أي فريد من نوعه) الفرد ويعمل على الحفاظ عليه بهذه الحالة.

وماذا يمكننا عمله للأفراد الذين يحتاجون بفارغ الصبر لكلية جديدة ولكن ليس لهم تروأم مماثل يمكنهم اللجوء إليه ؟ يوجد الآن إتجاهان أثبتا كفاءتهما العملية في جعل زراعة الكلية التي أعادت آلاف من البشر إلى فترات لا بأس بها من الصحة الجيدة. وأحد هذين الإتجاهين هو الطباعة النسيجية (Tissue Printing) ومناظرة دم بمجاميع ABO (وكذلك Rh) يسمح بنجاح نقل الدم ولو حتى في حالة وجود الكثير من أنتيجينات خلايا الدم الحمراء الأخرى. فبينما يمكن للأنتيجينات B, A, إثارة تفاعلات خطيرة فالأنتيجينات الأخرى (مثل MN) تكون ضعيفة جدا من الناحية الأنتيجينية بحيث أنه لا تنتج مشاكل من عدم المناظرة. وبنفس الطريقة، فالأنتيجينات التي يتعرف عليها الجهاز المناعي على سطح خلايا الأعضاء المزروعة يمكن أن تميز بأنها قوية أو ضعيفة. وتعمل ميكانيكية الرفض بصورة أقوى بكثير ضد الأنتيجينات القوية عما تعمله ضد الضعيفة. ولو أن المناظرة المثلث لكل الأنتيجينات ربما قد تكون ممكنة بين التوائم المتماثلة، وتكون تلك المناظرة جيدة نوعا على الأقل بالنسبة إلى الأنتيجينات القوية - ويمكن عملها، وخاصة بين أفراد نفس العائلة.

ومن النادر جدا، أن يولد طفل بدون جهاز مناعة بالمرة، إذ لا يمكن للطفل أن يصنع الخلايا الليمفاوية (ب) أو الخلايا الليمفاوية (ت) وبالتالي لا يمكنه الحصول على الاستجابة المناعية الوسيط-خلوية أو مناعة سائل الجسم. ومثل هذا الطفل مقضى عليه بالموت بسبب الأوبئة إلا: (١) تربيته في بيئة معقمة كلية أو (٢) إعطائه جهاز مناعة بحقنه بخلايا نخاع العظام (وهو منيع جميع الخلايا البيضاء) مأخوذة من متبرع سليم الصحة، وهو في العادة أخ أو أخت. وفي هذه الحالة، يمكنك أن تتنبأ أن الطباعة النسيجية لا داعي لها، طالما أن المثلثي (المستلم) لا يمتلك الميكانيكية التي تمكنه من تدمير النسيج المزروع. وفي الحقيقة، فإن الطباعة النسيجية هامة كذلك في هذه الحالة. وإذا ما وجدت إختلافات أنتيجينية قوية بين العائل والعضو المزروع، فإن



الشكل ٢٤-٢١ : قدر طعموم الجلد بين سلالتين من الفئران (أ + ب) مريبتان ذاتيا ولجيل الأول  $F_1$  (سلالة تزاوجية). وأشكال الأيونين ترفض جلد كلا منها وكذلك جلد من نسلها لأنه في كل حالة فهي تحتوي على أنتيجينات غريبة. والنسل، على أية حال، سيقبل طعموم الجلد من كلا سلالات الأيونين والتي ورثت جيناتها، وبالتالي أنتيجينات الأيونين. وأفراد سلالة فئران مرباه ذاتيا هي متشابهة وراثيا وبالتالي، مثل التوائم المتماثلة، تقبل الطعموم من بعضها البعض.

العضو المنزوع يكشف تلك الاختلافات ويحصل على إستجابة مناعية ضد العائل . ومثل هذا التفاعل الطعم مقابل العائل "graft versus host" تمت في العادة. ولو أن ما يوضحه تجارب مشكلة الطرد العادية. فللمرة الثانية فإن الدور الأساسي الذي تقوم به ميكانيكية المناعة هو التعرف على الغير "Nonself" وقدميرة.

والطريقة الأخرى التي يمكن بها تقليل ميكانيكية طرد الطعم هو معاملة المتلقى (المستلم) بالعقاقير التي تمنع الاستجابة المناعية. ويسبب الحاجة للتكاثر (الانقسام) السريع للخلايا أثناء الاستجابة المناعية، فأي عقار يوقف الانقسام الغير مباشر يشبط الاستجابة.

وطالما أصبح استخدام مثبطات المناعة غير ضروري لتمكن متلقى الأعضاء المنزرعة من الاحتفاظ بالكلية الجديدة أو لقلب الجديد لمدة غير محدودة من الوقت، فإن استخدام هذه العقاقير قد خلق مشاكل جديدة. والعقاقير الميسر الحصول عليها الآن

ليست بأي حال من الأحوال متخصصة في فعلها. وكلما زادت فعاليتها في تثبيط طرد الطعوم، كلما زادت فعاليتها في تثبيط الاستجابة المناعية من مهاجمة البكتيريا، والفطريات، والفيروسات. وبينما نجد أن المضادات الحيوية وعقاقير أخرى تساعد في حالة الالتهابات البكتيرية والفطرية إلا أن الالتهابات الفيروسية لا تخضع لمثل هذا العلاج وبذلك قد تصبح تهديداً دائماً للحياة.

## ٢٤-١٠. السرطان والحد من إنتشاره مناعياً:

### CANCER AND IMMUNE SURVEILLANCE

والتعقيد الآخر الذي يظهر عند إجراء عمليات زرع في المتلقين (Recipients) هو التعقيد الغير مناسب الذي يحدث في السرطان. ففي بعض الحالات تكون خلايا السرطان من مصدر فرد متبرع، وزرعت بدون قصد مع العضو المزروع. والعلاج في تلك الحالات يعتبر بسيطاً: إيقاف استخدام العقاقير المثبطة للمناعة، وعندئذ فان ميكانيكية الطرد في العائل تدمر الخلايا السرطانية [ويطرد العضو المزروع كذلك].

وفي معظم الأوقات، على أية حال، فان السرطان ينشأ من العائل نفسه. فلماذا إذن نجد أن المتلقين الذين أجريت لهم عمليات زرع في خطر أكبر من نشوء السرطان؟ فهل يمكن أن يعود ذلك إلى حالة تثبيط المناعة؟ وبحصل هذا الاحتمال على القبول عندما نلاحظ وجود عدد مختلف من الأمراض الوراثية تتميز باستجابة مناعية فقيرة والتي تكون كذلك مصحوبة بحالات مرتفعة غير مناسبة من السرطان. ولربما، إذن، أن تكون إحدى وظائف الميكانيكية المناعية هي تدمير الخلايا السرطانية. وإذا كان كذلك، لابد أن نتوقع أنه يمكن التعرف على مثل هذه الخلايا بواسطة الجهاز المناعي كغريب وحتى لو كان منشوهم من الشخص نفسه "Self" فهل يوجد إذن أي دليل على أن خلايا السرطان تحمل محددات أنتيجينية غير موجودة على الخلايا الأخرى العادية للعائل؟

وإن سهولة الحصول على سلالات فئران مرباه مع بعضها البعض (Inbred) والمواد الكيميائية التي يمكنها إحداث عدوى السرطان في تلك الفئران قد أمدتنا بالوسائل التي يمكن بها اختبار هذه الفكرة. ولقد رأينا أن فأراً يتقبل كنفسه "As self" طعم جلد من فأر آخر من نفس السلالة المرباة ذاتياً (inbred) فهل مثل هذا الفأر يتقبل أيضاً كنفسه "as self" وربما سرطاناً من مثل هذا الفأر الآخر؟ والأجابة لا. فقد ينمو ورم سرطاني

منزوع بسرعة كبيرة للدرجة أنه يقتل العائل قبل أن يستطيع هذا العائل أن يحصل على هجوم مناعي فعال . وبالرغم من ذلك ، فالآلة موجودة ، فإذا ما استؤصل مثل هذا الورم السرطاني المنزوع قبل أن يقتل عائله ، أو إذا ما حقن العائل أولا بخلايا ورم سرطاني ميت ، فإنه قد يكون للعائل الفرصة في أن يستعد لمجموعة ثانية "Sec-ond set" من المقاومة (رد الفعل) . ثم ، عند إعادة زرع الورم السرطاني ، فإنه يطرد بسرعة . وتوضح قدرة المتلقي على التعرف على خلايا الورم السرطاني من نفس سلالة على أنها غريبة (Foreign) بينما يتقبل الأنسجة العادية من هذه السلالة كـ "Self" أي منه نفسه ، أي أن هذه السرطانات تحمل معدلات أنتيجينية جديدة .

وكثير من الأورام السرطانية في حيوانات التجارب والبعض الآخر ، ربما ، في الإنسان أحدثتها الفيروسات . وفي هذه الحالات ، أيضا ، تحمل الخلايا السرطانية معدلات أنتيجينية على سطحها والتي تعتبر غريبة بالنسبة للعائل . والمسببات المعروفة المحدثة للسرطان (مثل الإشعاع ، والكثير من المواد الكيميائية ، والكثير من الفيروسات) منتشرة بشكل واسع في البيئة المحيطة بنا . ويفرض ان السرطان يبدأ كخلية واحدة شاذة (ضالة) فيمكننا إذن أن نشك أن إحدى وظائف ميكانيكية المناعة هي التعرف على تلك الخلايا الشاذة وفزيتها وتدميرها قبل أن تجتهد الوقت لتنمو وتكون ورما سرطانيا واضحا . مثل هذه الوظيفة وصفت بأنها الحد من الانتشار المناعي (Immune Surveillance) .

وإذا كان ذلك هو الحال ، لماذا نتعرض للسرطان ؟ توجد عدة احتمالات يزداد فيها الوقوع في الإصابة بالسرطان (بعد قمة صغيرة أثناء الطفولة) بتقدم العمر ، وتقل كفاءة ميكانيكية المناعة (كما هو مع الكثير من آلات الجسمي أنظر قسم ١٩١-٥) مع تقدم السن . وعلاوة على ذلك ، فالكثير من المواد الكيميائية والمعروفة بتسببها للسرطان . (كالمواد الهيدروكربونية مثل البنزوين - أنظر قسم ٢١-١٥) هي أيضا مثبطة للمناعة . وينطبق نفس الشيء على بعض الفيروسات المسببة للسرطان وربما يكون جزء من القاعدة الأساسية للنشاط السرطاني لهذه العوامل هو كفاءتها في تثبيط الحد من الانتشار المناعي .

وقد تكون الميكانيكية المناعية نفسها مسئولة عن الحد من الانتشار المناعي ونجاح الورم السرطاني في حصوله على اليد العليا . وعمليا طرد الورم السرطاني ، مثل طرد

الطعم، هو أساسا عمل تخصصي للخلايا الليمفاوية (ت) التي تقود الهجوم على الخلايا الغريبة. وتبدو الأجسام المضادة التي تدور في مجرى الدم وكأنها عديمة المساعدة في العملية ولربما في الحقيقة، تكون ضارة وتوجد أدلة كبيرة على أن نوع كل (أنواع من الأجسام المضادة الدائرة في مجرى الدم قد تمنع ظاهرة الطرد بالتحداد مع المحددات على الخلايا الغريبة. ويعملها هذا، فهي تغطي أو تحيط بهذه المحددات حتى تجعلها غير قادرة على إحداث عملية الطرد المتسببة عن الخلايا الوسيطة، وقد تنشأ بهذه الطريقة حالة إحتمال لظهور الورم السرطاني.

## ALLERGIES

### ٢٤-١١: أمراض الحساسية

لا يمكننا أن نعيش بدون جهاز مناعي فعال. ومع ذلك، توجد حالات (مثل، عندما تناول طعامك بالخارج وسط حفنة من نبات الأيفي - Ivy - السام) عندما يبدو أن الجهاز المناعي يناله بعض المشاكل. فالحساسية لنبات الأيفي السام هي إستجابة مناعية. لهذا، أيضا، يوجد رد الفعل الغير سار الذي يعاني منه بعضنا بعد تناول غذاء معين (مثل القواقع، الفراولة) أو إستنشاق حبوب لقاح من نباتات معينة (مثل حشيشة rag-weed، وكثير غيرها من الحشائش). وكل من هذه الإستجابات المناعية هو مثال للحساسية (Allergy) وكلها تبتدىء بمحدد أنتيجيني خاص واحد أو أكثر. وتوجد عدة أجهزة ميكانيكية مناعية تسبب الحساسية. وتلعب الخلايا الليمفاوية (ت) أهم دور في بعض من تلك الحساسية (مثل رد الفعل بالنسبة لنبات الأيفي السام)؛ والأجسام المضادة هي الجانية في أنواع حساسية أخرى. ولنتخبر الآن أحد أمراض الحساسية والأكثر شهرة والذي ينتج بسبب وساطة الجسم المضاد: حمى القش (Hay Fever).

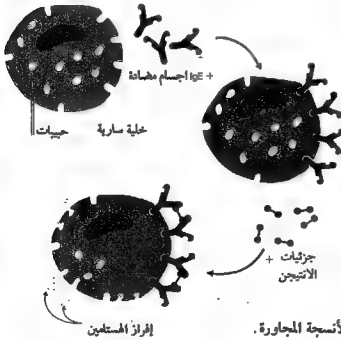
ولقد أكدنا عند مناقشتنا للجهاز المناعي حتى الآن على مناقشة الأجسام المضادة التي تدور في بلازما الدم. وعلى أية حال، توجد تلك الأجسام المضادة في أماكن أخرى في الجسم. ويرتبط نوع واحد من الأجسام المضادة يعرف باسم IgE بقوة بسطح خلايا أنسجة تسمى خلايا السارية (Mast cells) ويرتبط أيضا بخلايا كريات الدم البيضاء محبات الأماس Basophils - أنظر الشكل ٢٣-١١). وللأجسام المضادة (IgE) مستقبلات موجودة على المنطقة الثابتة في سلاسلها الثقيلة والتي تتحد مع



مستقبلات على الخلايا السارية (الشكل ٢٤-٢٢). وهذه الأجسام المضادة ذات الارتباط الخلوي (Cell-bound) لا يظهر لها أي تأثير حتى إذا لم تتقابل مع حواسم أنتيجينية فانه يمكنها أن تتحد مع مواقع الارتباط الأنتيجينية. وعندما يحدث ذلك، فان الخلايا السارية والتي ترتبط معها بطريقة قابلة للانفجار تنفجر حبيباتها السيترولازمية (الشكل ٢٤-٢٢). والمكون الرئيسي في تلك الحبيبات هو الهستامين. ويسبب تحرير الهستامين الانتفاخ، والاحمرار، والحكة، وغيرها في الأنسجة المحيطة. وفي أثر ذلك، عندئذ، تصبح كل خلية صارية IgE ذات حساسية كقابلة مشحونة يمكن أن تشتعل وتنفجر بواسطة أنتيجين خاص.

ويميل بعض الأفراد في بيئتهم إلى الاستجابة للأنتيجينات (مثل حبوب اللقاح، الغبار) بأنتاجهم كميات هائلة من الأجسام المضادة من الشكل IgE ونتيجة لذلك، فالتعرض اللاحق لتلك الأنتيجينات تشحن (Triggers) أي تتسبب في التحرير السريع للهستامين. فاذا ما حدث ذلك في أنسجة الممرات التنفسية وحول الأعين، تظهر كل الأعراض الغير سارة لحمى القش.

ويظهر أن الاستعداد لانتاج مستويات عالية من الأجسام المضادة (IgE) يكون مورثا، لذلك نجد أن حمى القش، وأية حساسيات أخرى من نفس الشكل تميل إلى



الشكل ٢٤-٢٢ :

ميكانيكية الحساس والاستجابة في الحساسيات مثل حمى القش. والأجسام المضادة من الشكل IgE ترتبط بالخلايا السارية وتجعلها حساسة لأي أنتيجين (مثل، حبوب لقاح حشيشة Ragweed) موجه اليه الأجسام المضادة وعند تعرضها للأنتيجين الحساسة لها، فان الخلايا السارية تفرز الهستامين. ويسبب الهستامين الاحمرار والانتفاخ في الأنسجة المجاورة.

الوجود في العائلات .

وما الذي يمكن عمله لمساعدة هؤلاء الذي يقاسون من أمراض الحساسية؟ تجنب الأنتيجينات له فاعلية، بالطبع، ولكنه قد يكون غير عملي، ويعطى تناول مضاد - المستامين الراحة للمريض بمنعه تأثير المستامين، أو، يمكن أن يحاول المرء من تقليل حساسية الضحية، ويتطلب ذلك الحزم في تكرار إدخال جرعات زائدة بالتدريج من الأنتيجين (أو الأنتيجينات) الخطأ في الجسم أي، بالحقن. وهدف واحد لهذه الطريقة هو لبناء أجسام مضادة أخرى لها نفس الخاصية والتي لا ترتبط مع الخلايا السارية. وإذا تم هذا البناء، فإن تعداد الأجسام المضادة الجديد الذي يدور مع الدم قد يكون قادراً على تعطيل الأنتيجين قبل وصوله إلى الأنسجة والعمل على تحرير المستامين. ولسوء الحظ فإن الأقلال من هذه الحساسية (desensitization) هو عملية شاقة، ولا تدوم التأثيرات طويلاً.

## CHAPTER SUMMARY .

## ملخص الباب

تركزت دراسة الاستجابة المناعية لعدة عشرات من السنين على دورها في حماية الفقاريات (ويظهر أن المناعة خاصة كلية بالفقاريات) من مسببات الأمراض المعدية. ولكن يمكننا النظر إلى الاستجابة المناعية بنظرة أوسع. ويمكن ميكانيكية المناعة جسم الحيوان الفقاري من تخليق عدد كبير (لا يعرف حتى الآن هذا الكبر) من أنواع مختلفة من جزيئات البروتين. ومن بين تلك المجموعة المتنوعة، يقدر عدد قليل على الاتحاد طبيعياً مع، على قدر ما يمكننا قوله، أي شكل جزيئي ذو ثلاثة أبعاد (محدد Deter-minant) والذي يمكن تمييزه. وهذه الآلة (Machinery) لا تؤدي عادة إلى تدمير الجزيئات الكبيرة والتي هي المكونات العادية للعائل. وتعمل تلك الآلة على تثبيت وتدمير الجزيئات الكبيرة التي تدخل البيئة الداخلية من العالم الخارجي. ويعملها هذا، فهي تقوم بحمايتنا من مسببات المرضية مثل الفيروسات والبكتيريا، وربما يمكنها أيضاً إنتاج أعراض لا تسر من الحساسية عندما تنجح مسببات غير مرضية (مثل حبوب لقاح حشيشة Rag weed) في الدخول إلى الجسم. كما تعمل كذلك على تدمير مجهودات الجراح المملوءة بالأمال عندما يحاول تغيير الأعضاء التالفة في الجسم. ومن الممكن كذلك أن يحاول الجهاز المناعي تدمير الخلايا الشاذة (السرطانية) والتي تنشا في الجسم.

وبأداء كل هذه الأعمال يتعلم الجهاز من تجاربه وغالباً ما يتكون له قدرة سريعة لمقاومة كل ما يحاول أن ينازله أو يتصادم معه فيما بعد بنفس القوة.

وبذلك تعمل ميكانيكية المناعة على حراسة الجسم ضد الغزاه من الخارج وضد الخلايا السرطانية والتي تهدد بغزونا من الداخل. ومن كلمات بيرنت (F.M. Burnet) وهو واحد من أعظم علماء المناعة في القرن العشرين، تعمل الاستجابة المناعية لحفظ كمال الجسم.

### EXERCISES AND PROBLEMS

### تمارين ومسائل

- ١ - طفل وأمه كلاهما من فصيلة الدم O ، فما هي فصيلة الدم التي يحتمل أن توجد عند الأب.
- ٢ - ضحية حادث ذو فصيلة دم A يجب أن يعطي له دم من متبرع من أي فصيلة دم؟ وما هي فصائل الدم الأخرى الممكن إستخدامها بدون خطورة كبيرة؟
- ٣ - ماهي فصائل الدم المحتملة في أطفال ناتجين من زواج يحمل فيه الأب فصيلة دم من المجموعة O وتحمل الأم فصيلة دم من المجموعة AB ؟

### REFERENCES

### المراجع

- 1- CAPRA, J.D., and A.B. EDMUNDSON, "The Antibody Combining Site," Scientific American Offprint No. 1350, January, 1977.
- 2- PORTER, R.R., "The Structure of Antibodies," Scientific American Offprint . No. 1083, October, 1967.
- 3- EDELMAN, G.M., "The Structure and Function of Antibodies," Scientific American, Offprint No. 1185, August, 1970. Edleman and Porter (author of the preceeding article) shared an Nobel Prize in 1972 for their work.
- 4- Reisfeld R. A., and B. D. KAHAN "Markers of Biological Individuality", Scientific American, Offprint No. 1251, June, 1972. On transplantation antigens.
- 5- JERNE, N. K., "The Immune System," Scientific American, Offprint No. 1276, Julu, 1973.

- 6- COOPER, M. D., and A. R. LAWTON III, "The Development of the Immune Systems," Scientific American, Offprint No. 1306, November, 1974.
- 7- PORTER, R. R., Chemical Aspects of Immunology, Carolina Biology Readers, No. 85, Scientific Publication Division, Carolina Biological Supply Company, Burlington, N.C., 1976.
- 8- RAFF, M. C., "Cell-Surface Immunology," Scientific American, Offprint No. 1388, May, 1976.
- 9- LEDER, PHILIP, "The Genetics of Antibody Diversity," Scientific American, Offprint No. 1518, May, 1982. A superb account by one of the major contributors to the subject.
- 10- CLARKE, C. A., "The Prevention of the Rhesus Babies" Scientific American, Offprint No. 1126, November, 1968.
- 11- OLD, L. J., "Cancer Immunology," Scientific American, Offprint No. 358, May, 1977.
- 12- ROSE, N.R., "Autoimmune Diseases," Scientific American, Offprint No. 1491, February, 1981. Describes how the immune system can on Occasions mount an attack against "self" components.
- 13- KIMBALL, JOHN W., Introduction to Immunology, Macmillan, New York, 1983.
- 14- BUISSERT, P.D., "Allergy," Scientific American, Offprint No. 1522, August, 1982.

## CHAPTER 25

## الباب الخامس والعشرون

### الإخراج والحفاظ على مكونات وخواص السائل الخلوي الزائد

## EXCRETION AND HOMEOSTASIS

EXCRETION IN PLANTS	١-٢٥ . الإخراج في النباتات
EXCRETION IN AMOEBA	٢-٢٥ . الإخراج في الأميبا
EXCRETION IN INVERTEBRATES	٣-٢٥ . الإخراج في اللافقاريات
EXCRETION IN HUMANS	الإخراج في الإنسان
STRUCTURE OF THE HUMAN KIDNEY	٤-٢٥ . تركيب كلية الإنسان
THE FORMATION OF URINE	٥-٢٥ . تكوين البول
CONTROL OF THE KIDNEY	٦-٢٥ . تحكم الكلية
MECHANICS OF ELIMINATION	٧-٢٥ . ميكانيكية الاستبعاد
KIDNEY DISEASE	٨-٢٥ . مرض الكلية
THE NITROGENOUS WASTES OF HUMANS	٩-٢٥ . الفضلات النيتروجينية للإنسان
EXCRETION IN OTHER VERTEBRATES	الإخراج في الفقاريات الأخرى
AQUATIC VERTEBRATES	١٠-٢٥ . الفقاريات المائية
TERRESTRIAL VERTEBRATES	١١-٢٥ . الفقاريات الأرضية
CHAPTER SUMMARY	ملخص الباب

**EXERCISES AND PROBLEMS**

**REFERENCES**

تمارين ومسائل

المراجع

## الباب الخامس والعشرون

### الاخراج والحفاظ على مكونات وخواص السائل الخلوي الزائد

قمنا في الأبواب السابقة من الجزء السادس بشرح الوسائل التي يمكن بها للكائنات الحية: (١) الحصول على المواد (والطاقة) من بيئتها، (٢) نقل المواد في داخل أجسامها، (٣) تحول تلك المواد داخل خلاياها. وكل تلك العمليات جزء من التمثيل الغذائي للكائن. ولتكملة قصتنا عن التمثيل الغذائي، لابد ان نختبر الان الوسائل التي تعيد بها تلك الاشياء الحية منتجاتها من الفضلات إلى البيئة. وعلى العموم، فأغلب فضلات التمثيل الغذائي هي ثاني اكسيد الكربون، الماء، الأمونيا. وهذه المواد لا يجب إعتبارها، على أية حال، ببساطة كفضلات. فكل منها له أدوار هامة يقوم بها في تنظيم أنشطة الجسم (نذكر، على سبيل المثال، تأثير ثاني أكسيد الكربون على معدل التنفس) وكذلك في عمليات التخليق الغذائي المختلفة في الخلية. وحتى الأمونيا، وهي مادة سامة جدا، عامل هام في عدد من التغيرات الكيميائية الحيوية للتمثيل الغذائي للأحماض الأمينية. ولذلك، فقط عندما تتجمع تلك المواد بمستويات زائدة عن حاجة الكائن، فيجب التخلص منها. وعودة هذه المنتجات التي نحتاج اليها في عمليات التمثيل الغذائي إلى البيئة تسمى بعملية الاخراج (Excretion) وكما سبق لنا دراسة (في الباب الحادي والعشرين) الوسائل التي تعيد بها النباتات والحيوانات الفضلات الغازية إلى البيئة، فسوف لا نهتم بها كثيرا في الدراسة الحالية.

#### EXCRETION IN PLANTS

#### ٢٥-١. الاخراج في النباتات:

لا يعرضنا الاخراج في النباتات إلى أية مشاكل خطيرة، وتوجد عدة أسباب لذلك. أولا، أن معدل الهدم catabolism في النباتات عموما أقل بكثير عنه في الحيوانات من

نفس الوزن. وبالتالي، فإن فضلات الأيض في النباتات تتجمع ببطء أكبر. وثانياً، تستخدم النباتات الخضراء الكثير من فضلات منتجات التحولات الغذائية بها في عمليات التجديد الخلوي. ويستخدم الماء وثنائي أكسيد الكربون، الناتجان من عملية التنفس، في عملية البناء الضوئي. ويمكن استخدام مركبات الفضلات النيتروجينية، والتي تريح الحيوانات كثيراً بالتخلص منها، بالنباتات الخضراء في تخليق بروتين جديد. وأخيراً، يعتمد الأيض في النباتات أساساً على الكربوهيدرات أكثر من اعتمادها على البروتينات، وهذا يقلل من متطلباتها الإخراجية، إذ أن المنتجات النهائية للتمثيل الغذائي للكربوهيدرات أقل سمية بكثير من الفضلات النيتروجينية الناتجة عن التمثيل الغذائي للبروتينات. وبطبيعة الحال تنتج النباتات بروتينا، الذي يصنع منه تركيبات خلوية متعددة هامة وكذلك جميع إنزيماتها. وبالرغم من ذلك، يلعب التمثيل الغذائي للبروتين دوراً أقل بكثير في النباتات عنه في الحيوانات، الذي يعتمد تركيب جسمها العام بدرجة كبيرة جداً على البروتين.

وفي النباتات المائية، تكون فضلات الأيض حرة في الانتشار من سيتوبلازم إلى المياه المحيطة. ولا توجد خلية بعيدة عن الماء كما أن تركيز الفضلات داخل الخلية يزيد عن تركيزها في الماء. ونتائج الأيض الوحيد الذي لا تشمله هذه الحقيقة هو الماء نفسه. وتعيش نباتات المياه العذبة محاطة بماء يزيد تركيزه كثيراً عن الماء الموجود داخل سيتوبلازم تلك النباتات. ولا يوقف هذا فقط الانتشار (الضغط الاسموزي) كوسيلة للتخلص من الفضلات المائية، لكن (وهو أهم بكثير) يعرض تلك النباتات إلى دخول تيار مستمر من الماء من البيئة. ويدخل الماء إلى الخلايا بالضغط الاسموزي، يزداد الضغط داخل الخلايا بسرعة. ويتحمل جدار الخلية السليولوزي الضلب هذا الضغط ويحدث الإمتلاء. وعندما يصبح الضغط داخل الخلية معادلاً للضغط الاسموزي، يحدث التوازن بين محتويات الخلية (وخاصة الفجوة المركزية) والبيئة.

وفي النباتات الأرضية، تخزن فضلات نواتج الأيض، كالألاح والأملاح العضوية، ببساطة في النبات. وقد تخزن تلك الفضلات على هيئة حالة صلبة كأشكال بللورية أو قد تذوب في سائل الفجوة المركزية. وفي الأنواع العشبية، تبقى تلك الفضلات ببساطة في الخلايا إلى أن يجئ موت قمم النباتات في الخريف. وفي النباتات المعمرة، توضع الفضلات في الخشب الصمغي الميت ويتم التخلص منها عند سقوط الأوراق.



## ٢٥-٢. الإخراج في الأميبا: EXCRETION IN THE AMOEBA

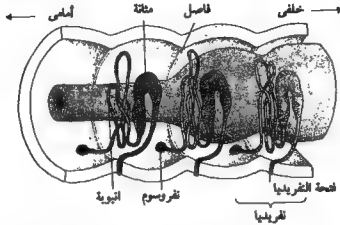
تعيش الأميبا وغيرها من الحيوانات وحيدة الخلية في بيئة مائية وتتخلص من فضلات التمثيل الغذائي بالانتشار تماما كما تفعل النباتات المائية. في الكثير من هذه الحيوانات، فإن الناتج النهائي للتمثيل الغذائي للبروتين هو الأمونيا. وهذه المادة (في شكل الايون الخاص بها - ن يد<sup>+</sup>) تنتشر بسلاسة إلى خارج الخلية قبل وصولها إلى تركيز خطير.

وعلى أية حال، لا تستطيع هذه الكائنات التعامل مع الماء الزائد بهذه الوسيلة. ويفقدانها جدار خلوي متين، فأنها لا تستطيع مصارعة تيار الماء المستمر الداخِل إلى أجسامها بينائها ما يعوض ذلك. وتحل هذه المشكلة عن طريق الفراغ المنقبض (Con-tractile Vacuule) وتستخدم الطاقة لاجبار الماء على العودة من الخلية إلى خارجها في الحياة المحيطة. ومن المحتمل ألا يلعب الفراغ المنقبض أي دور أساسي في التخلص من المواد الأخرى. والأميبات التي تعيش في بيئة متعادلة التوتر (Isotonic) (بحرية أو أشكال متطفلة) تكون خالية من الفراغ المنقبض، عند وضع مثل تلك الأميبات في بيئة قوتها ناقصة التوتر (Hypotonic) على أية حال، قد تنشئ لها فراغا منقبضا. وهذا الدليل يجعلنا نفترض أن الفراغ المنقبض يعمل ببساطة على تنظيم التوازن المائي داخل الكائن.

## ٢٥-٣. الإخراج في اللافقاريات EXCRETION IN THE INVERTEBRATES

يشبه الجهاز الإخراجي في دودة الأرض الجهاز الإخراجي للعديد من الحيوانات الأخرى الفقارية واللافقارية. ولا يعني هذا بالضرورة أن كل تلك الحيوانات قد ورثت التركيب من سلف واحد، لكن قد يعني ذلك أن مثل هذه الميكانيكية ذات الكفاءة قد نشأت أكثر من مرة في مسار التطور الحيواني.

ففي دودة الأرض والكثير غيرها من اللافقاريات، تسمى أجهزة الإخراج هذه باسم النفريديا (Nephridia) (الشكل ٢٥-١). ويوجد زوج من تلك النفريديا في كل حلقة من حلقات دودة الأرض (فيا عدا الثلاث حلقات الأولى والحلقة الأخيرة). وتكون كل نفريديا من قمع، أهداب، النفروستوم (Nephrostome) والمثبت على الحاجز، هو الغشاء الذي يفصل بين الحلقات. ويؤدي القمع خلال الحاجز إلى أنبوبة طويلة



الشكل ٢٥-١. الجهاز الإخراجي في دودة الأرض. توجد نفرديا ثانية في كل حلقة. وتلتقط النفريديا السائل المحتوي على الفضلات والمواد النافعة، ولكن تبقى المواد النافعة عند مرور السائل خلال الأنبوية.

والتي تقع ملتوية في الحلقة الخلفية التالية. ويتضخم الطرف النهائي (الطرف البعيد) للأنبوية ليكون جهازاً مؤقتاً للتخزين، يسمى بالمثانة. وتفتح المثانة إلى الخارج عن طريق ثقب، هو ثقب النفريديا (Nephridiopore) موجود على السطح السفلي للدودة.

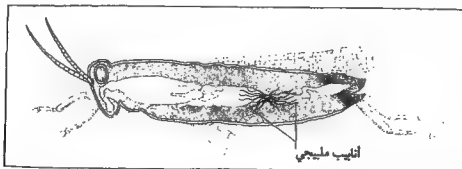
ويقع النفروستوم (وهو القمع) داخل فراغ الجسم، يمثل هذا الفراغ بسائل مكون أساساً من ليمف تتم ترشيحه من الجهاز الدوري المغلق، وهو (ECF) سائل خلايا جسم دودة الأرض، يحتوي على مواد نافعة (مثل الجلوكوز) ومواد ضارة عديمة الفائدة (مثل الفضلات النيتروجينية). ويدخل السائل المذكور النفروستوم ويمر لأسفل الأنبوية بمساعدة الأهداب وإنقباض عضلات الأنبوية نفسها وأثناء تحركه، تحتفظ الخلايا المبطنة للأنبوية بالمواد النافعة للدودة. والأنبوية مزودة بكثرة بالأوعية الدموية لدرجة أن تلك المواد النافعة توضع ثانية في الدودة. أما عن المواد الغير نافعة أو الفضلات فلا تحتفظ بها الدودة وبالتالي تترك الدودة عن طريق فتحات (ثقوب) النفريديا الخارجية. وسنرى أن الكثير من الحيوانات الأخرى تحمل مشاكلها الإخراجية بطريقة مماثلة. وجميع مكونات السائل (ECF) يتم فحصها، فالمواد النافعة تحتفظ بها الدودة بينما المواد المتبقية فلا.

وبالإضافة إلى هذا النشاط الفحصي الإخراجي، فقد تعمل النفريديا كذلك بطريقة أكثر تقدماً. إذ يمكن للخلايا الإفرازية الموجودة في الأنبوية أن تنقل الفضلات

من الشعيرات الدموية مباشرة إلى فراغ الأنبوية، ويطلق على ذلك إسم الاخراج الأنبوبي.

وتوجد في الحيوانات التي تعيش في المياه العذبة كميات كافية من الماء لطرد الفضلات النيتروجينية السامة بعيداً بمجرد تجمعها. وفي الحقيقة فإن المشكلة الرئيسية لتلك الحيوانات تبدو وكأنها تتوافق مع مشكلة الماء الكثير الذي يدخل إلى أجسامها من البيئة ناقصة التوتر (Hypotonic) وفي الحيوانات الأرضية، يختلف الوضع تماماً، إذ يجب بذل كل مجهود للاحتفاظ بالماء. وفي مفصليات الأرجل الأرضية، مثل الحشرات، نأخذ أول نظره عن مشكلات الاخراج هذه في بيئة جافة. ويحل النشاط المشكلة عن طريق تحورات تركيبية وكيمياء حيوية. فالفضلات النيتروجينية للنشاط (والحشرات الأخرى) هي حمض اليوريك. والملاءمة الكيمياء حيوية هامة جداً لأن حمض اليوريك يضم محتوي نيتروجيني مرتفع ذو سمية قليلة. هذه السمية القليلة هي نتيجة جزئية للدويان البسيط. فبمجرد أن يبدأ تركيز حمض اليوريك في الزيادة نوعاً ما، فإنه يهبط من السائل على شكل راسب صلب. ونظراً إلى صلابته، فإنه لا يبدى أي تأثير كيميائي حيوي ويمكن إعادة من الجسم بكمية بسيطة من الماء.

وتركيبياً، يتكون الجهاز الاخراجي في الحشرات من أنابيب مليجي (Malpighian tubules) موجودة في فراغ الجسم حيث تكون مغمورة بالدم (الشكل ٢٥-٢). ولو أنه لا يوجد إنفتاح مباشر إلى الدم، تأخذ خلايا تلك الأنابيب المواد من الدم وتقررها في فراغ تلك الأنابيب، ثم يعاد امتصاص المواد النافعة، بما فيها الماء. وعند إنخفاض



الشكل ٢٥-٢. الفضلات الأخرجية (أساساً حمض اليوريك) في التظاظ تلقى في الأمعاء، حيث تمتص ثمانية أغلبية الرطوبة الموجودة في تلك الفضلات. ويمكن للتظاظ بذلك أن يخرج فضلات تميله الغدائي بدون فقد ماء تقريباً.

تركيز الماء بداخل الأنبوية، يترسب حمض اليوريك. وبدلاً من أن تفتح مباشرة إلى الخارج، فإن تلك الأنبوب تؤدي إلى الأمعاء، حيث يمتص ماء أكثر. ويمر حمض اليوريك بعدئذ إلى الخارج مع البراز، يكون هذا الإفراز الأخير جافاً، بذلك يمكن للقطاط أن يتخلص من فضلاته النيتروجينية بدون فقد الماء المهم في العملية الاخراجية.

## EXCRETION IN HUMAN

## الاجراج في الانسان

أهم أعضاء الاجراج في الفقاريات هي الكلية، ولأن الكثير معروف عن وظيفة الكلية في الثدييات عن أي نوع آخر، فستولي أولاً فحصها، مستخدمين أنفسنا كمثال على ذلك. وستولي فيما بعد الكشف عن بعض التحورات التركيبية والوظيفية الموجودة في كلى فقاريات أخرى.

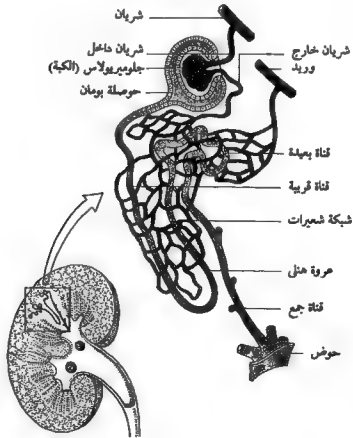
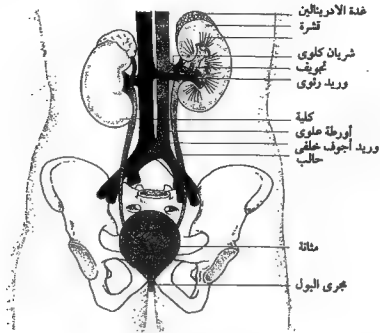
## ٢٥-٤ . تركيب كلية الانسان : STRUCTURE OF THE HUMAN KIDNEY

كل الانسان عبارة عن عضوين شكلهما كحبة الفاصوليا (Bean-shaped) وكل كلية في حجم قبضة اليد المغفلة، توجدان ملاصقتان للجدار العلوي للجسم على جانبي العمود الفقري.

ولو أن الوزن الكلي للكليتين يعادل نحو ٥٪ فقط من وزن الجسم الكلي فإن الكليتين تستلزمان مدداً غنياً فوق العادة من الدم، إذ أن ٢٠-٢٥٪ من الدم الذي يضخه القلب كل دقيقة يصب فيها. ويصل هذا الدم إلى الكليتين عن طريق شريان كلوى أيمن وآخر أيسر، ويخرج هذا الدم من الكليتين عن طريق الوريدين الأيمن والأيسر (الشكل ٢٥-٣).

ويوضح القطاع العرضي في الكلية بأنها تتكون من ثلاث مناطق واضحة. المنطقة الخارجية وهي القشرة (Cortex) وتحتها المنطقة التالية وتسمى النخاع (Medulla) ويدخل النخاع غرفة مجوفة هي حوض الكلية (Pelvis).

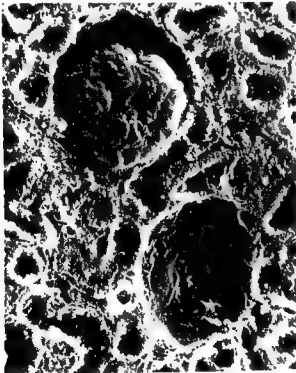
وتتكون القشرة والنخاع لكل كلية من نحو مليون نفرون (Nephrones)، والنفرون هو الوحدة التركيبية والوظيفية للكلية. ولتفهم فسيولوجية الكلية ككل نحتاج فقط



الشكل  
٢٥-٣. الجهاز  
الأخراجي في  
الإنسان. أصل:  
التشريح المام.  
أسفل: نفرون  
واحد (مكب).  
يوجد تقريبا نحو  
مليون نفرون في كل  
كلية.

لمعرفة فسيولوجية نفرون واحد فقط .

ويتكون النفرون من أنبوبة ملفوفة طويلة (عدة سنتيمترات) مقفولة عند أحد أطرافها ومفتوحة عند الطرف الآخر (الشكل ٢٥-٣). وعند النهاية المغلقة لكل أنبوبة، في القشرة، يتمدد جدار النفرون وينشئ على شكل غرفة مزدوجة الجدران، والمسماء كبسولة (أو عغفلة) بومان (Bowman's capsule) (الشكل ٢٥-٤)، ويدخل الجزء المشئي من كبسولة بومان توجد شبكة من الشعيرات، المسماه كبه (glomerulus) وتتكون الأنبوبة نفسها من ثلاث حلقات مكددة. الحلقة الأولى، هي الأنبوبة القريبة (Proximal Tube) ملفوفة (ملتوية كثيرا) قرب كبسولة بومان، وخلايا جدر هذه الحلقة من الأنبوبة مزودة بكثرة بالميتوكوندريا، كما يمتد كثير من الخياثل (Microvilli) من تلك الخلايا إلى داخل (قناة) الأنبوبة. وتؤدي الأنبوبة القريبة إلى الحلقة الثانية وهي طويلة ذات جدر رقيقة وتسمى عروة (أو أنشوطه) هنلى (Loop of Henle) ويسير هذا الجزء لأسفل في النخاع ، وتعمل إنشاء يشبه دبوس الشعر (Hairpin) ثم يعود إلى منطقة كبسولة بومان، وهنا تتمدد الأنبوبة ثانية مكونة الحلقة الثالثة أو الأنبوبة البعيدة (الطرفية) (Distal Tubule) ، وكما في الأنبوبة القريبة فإن الأنبوبة البعيدة كثيرة الالتواء .



الشكل ٢٥-٤. قطاع في قشرة كلية فأر كما يرى تحت الميكروسكوب الإلكتروني المسطح. قرب القمة، المركز، يمكن رؤية كبسولة بومان بمجموع شعيراتها الدموية. وتحتها مباشرة توجد حوصلة بومان أخرى مضروعة. وتوضح باقي الصورة قنوات الأنايب البعيدة والقريبة كما هي مقطوعة بزوايا مختلفة (يتصريح من كيث ر. يورتر).

## ٢٥-٥. تكوين اليوريا: THE FORMATION OF URINE

يصنع النفرون البول، ويعمل ذلك بترشيح الدم ثم إعادة المواد النافعة ثانية إلى الدم، ويترك ذلك المواد الغير نافعة للمرور إلى خارج النفرون في محلول والذي نسميه البول.

وتستلم شبكة الشعيرات في الكلية الدم من شريان وارد Afferent وتفرغ منها في شريان صادر Efferent والدم داخل الشبكة، مثل الدم الموجود عند النهاية الطرفية لشعيرة دموية شريانية، يكون تحت ضغط بسبب انقباض البطين الأيسر. ويسبب هذا الضغط رشح الماء والجزيئات الصغيرة الموجودة في الدم (وبذلك تنفاذي البروتين) خلال جدر الشعيرات. ويسمى السائل الناتج بالرشح النفروني (Nephric Filtrate)، ونظيره إلى الشكل (٢٥-٥) توضح أن هذا السائل المترشح ما هو إلا ببساطة بلازما دم تنقصها كل بروتينات الدم. لذلك لا يختلف هذا السائل عن السائل البين فراغي (Interstitial Fluid) (انظر قسم ٢٣-١٦).

الشكل ٢٥-٥. تركيب البلازما، الراشح النفروني، البول (جرام / ١٠٠ مليلتر من السائل)، هذه قيم تمثلة. وقيم الاملاح على الخصوص متباينة حسب كمية الملح والماء المأخوذة.

المكون	البلازما	الراشح النفروني	البول	التركيز	العائد %
اليوريا	٠,٠٣	٠,٠٣	١,٨	×٦٠	%٥٠
حمض اليوريك	٠,٠٠٤	٠,٠٠٤	٠,١٥	×١٢	%٩١
الجلوكوز	٠,١٠	٠,١٠	لاشيء	---	%١٠٠
الأحماض الأمينية	٠,٠٥	٠,٠٥	لاشيء	---	%١٠٠
الأملاح الكلية الغير عضوية	٠,٩	٠,٩	٣,٦-٠,٩	×٤-١٢	%٩٩,٣ <
البروتينات و الغرويات الأخرى	٨,٠	لاشيء	لاشيء	---	---

ويتجمع الراشح النفروني بداخل كبسولة بومان ثم يمر إلى الأنبوية القريبة، وهنا يمتص ثمانية الجلوكونوز، الأحماض الأمينية وكميات كبيرة من الأيونات الغير عضوية



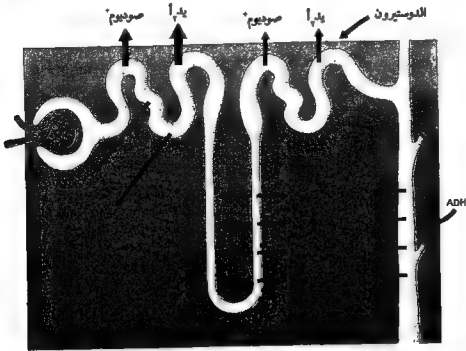
(الشكل ٢٥-٦). وتستمر عملية إعادة الامتصاص هذه بالنقل النشط. وكل التفاصيل الخاصة بمعرفة كيف يتم ذلك غير معروفة حتى الآن، لكن نحتاج تلك العملية إلى إنزيمات و ATP. وكما ذكر أعلاه، فان خلايا الأنبوية القريبة غنية بمحتوياتها من الميتوكوندريا، يعادل معدل تمثيلها الغذائي مثيلة في أي خلية أخرى بالجسم، بما فيها الخلايا العضلية النشطة. وعلاوة على ذلك، فان خماثلها تزيد بكثرة مساحة السطح المعرض للراشح النفروني. والشكر الكثير إلى الخماثل، إذ أن المساحة السطحية التي تساهم في تكوين البول في الانسان تساوي ستة أمتار مربعة، أو ثلاثة أضعاف مساحة سطح الجسم من الخارج.

وترجع المواد التي يعاد امتصاصها بواسطة الأنبوية القريبة إلى الدم من نهايات الشعيرات التي تحيط بالأنابيب. وفي الثدييات، تتسلم نهاية تلك الشعيرات كل إمدادتها من الدم من الشريان الصادر أى الخارج (Effluent) لشبكة الشعيرات في الكبة (glomerulus) وتصفى نهايات الشعيرات الدموية ما بها في أوردة تصب في النهاية في الوريد الكلوى.

إلى أن يتم إبعاد المحاليل المختلفة من الراشح النفروني وإعادتها إلى الدم، حتى تتبعها كمية كبيرة من الماء. وإعادة امتصاص الماء يرجع كلية إلى العملية السلبية الأسموزية. وانتقال السوائل من الراشح النفروني إلى الدم يزيد من تركيز الماء في هذا الراشح النفروني ويمر الماء بعد ذلك بالعملية الأسموزية إلى الدم ليحافظ على التوازن الأسموزي.

ولو أن كمية الراشح النفروني الناتجة بواسطة نفرون واحد ليست كبيرة، إلا أن الكمية الناتجة عن مليونين من النفرونات تكون كبيرة جداً، فينتج نحو ١٨٠ لتر من الراشح النفروني كل يوم في الكليتين، وتمثل هذه الكمية من السائل أكثر من ضعف وزن الفرد. وعلى أية حال، فان ٨٠ - ٨٥٪ من الماء في الراشح النفروني تمتص ثانية بالأنابيب القريبة ويمتص مع هذا الماء أكثر من كيلو جرام من كلوريد الصوديوم





الشكل ٢٥-٦. نشاط الانتقال في النشرون. تنتقل أيونات الصوديوم، الجلوكوز، الأحماض الأمينية بنشاط خارج الأنابيب القريبة وثانية إلى الدم. ويتبع تلك المواد الذائبة دخول كميات كبيرة من الماء بالانتشار. وتنتقل كذلك بنشاط أيونات الصوديوم خارج السائل في عروة هنلي، وبكميات ينظمها مستوى هورمون الألدوستيرون، وخارج الأنابيب البعيدة كذلك. ويتسبب التركيز المرتفع لأيونات الصوديوم في السائل البين خلوي حول عروة هنلي في وجود ضغط أسموزي مرتفع يسحب الماء من أنابيب التجميع. ونفاذية جدر أنابيب التجميع (وكذلك الأنابيب البعيدة) وبالتالي كمية الماء التي تنتشر إلى خارجها تنظم بواسطة الـ (ADH).

(NaCl) - ٤٠٠ جرام من  $\text{NaHCO}_3$  (وهي تعادل تقريباً محتويات صندوق وزنه رطل من صودا الخبز التجارية)، ١٨٠ جرام من الجلوكوز، كميات أقل من مواد أخرى نافعة. ومن السهل رؤية أن الحياة لا يمكن أن تدوم لمدة طويلة إذا خرجت تلك الكميات ببساطة من الجسم.

ولا تسترد الأنبوية القريبة كل المواد الذائبة في الراشح النشروني إذ أن نحو ٥٠٪ من الفضلات النيتروجينية، اليوريا، تبقى، كما تبقى كذلك كميات لا بأس بها من الأملاح الذائبة في السائل الموجود داخل الأنبوية.

و يمرور هذا السائل في عروة هنلي (Loop of Henle) يكون متعادلاً ألتوتر تقريباً

(Isotonic) مع الدم. وتمتص السوائل والماء بنسب متساوية في الأنبوبة القريبة. ويتغير هذا الوضع كثيرا بمرور السائل في عروة (أو أنشودة) هنلى والأنبوبة البعيدة. وهنا ينقل صوديوم أكثر بنشاط من السائل (شكل ٢٥-٦). وبما أن جذر عروة هنلى غير نفاذه لمرور الماء لذلك لا يتبع الماء أيونات الصوديوم بالخاصية الأسموزية. ونتيجة لذلك، فإن السائل البيني في نخاع الكلية يصبح شديد الملوحة. وبفقد الملح وليس الماء فإن السائل الذي يتبقى داخل عروة هنلى يصبح في الحقيقة أقل توتراً (Hypotonic) من الدم عندما يصل الى الأنبوبة البعيدة.

ويمكن أن تتغير جذر الأنابيب البعيدة وكذلك قنوات التجمع (Collecting) في نفاذيتها للماء. ففي الأنبوبة البعيدة، تضخ كمية إضافية من الصوديوم للخارج بخاصية النقل النشط. وإذا ما احتاج الجسم الى الاحتفاظ بكمية أكبر من الماء لتجنب الجفاف، فإن الجذر تصبح أكثر نفاذية للماء ويتبع الماء الصوديوم بالضغط الاسموزي. وتقر قناة التجمع خلال النخاع الشديد الملوحة وزائد التوتر (Hypertonic) وبذلك، عندما تصبح جذر قناة التجمع أكثر نفاذية للماء، يمر الماء للخارج بالخاصة الأسموزية الى السائل البين خلوى للنخاع (الشكل ٢٥-٦). وعندما يعمل الجهاز للحفاظ على أكبر كمية من الماء، فقد يبقى نحو نصف لتر/يوم من اليوريا وذلك من الكمية الكلية البالغة ١٨٠ لتر/يوم للراشح النفروني. وشكرا للسائل البين خلوى زائد التوتر لنخاع الكلية، إذ أن تركيز المواد الذائبة البول يمكن أن يعادل أربعة أضعاف التركيز الموجود في الدم.

ولسو أن تكوين البول في الثدييات يحدث أوليا بميكانيكية الترشيح وإعادة الامتصاص التي وصفت من قبل إلا أنه توجد ميكانيكية أخرى تتدخل في الأمر وهذه هي الإفراز الأنبوبي. فتتبع خلايا الأنابيب بعض المواد من الدم في الشعيرات المحيطة، ثم تفرز تلك المواد في السائل الموجود داخل الأنابيب وبذلك يضاف الى البول. وهناك مادتان تفرزان بتلك الطريقة هما أيونات الايدروجين ( $H^+$ ) وإيونات البوتاسيوم ( $K^+$ ) وفي كل حالة، فإن إفراز هذه المواد (والتي توجد في الأنابيب البعيدة)، يصحبه إعادة امتصاص أيون - الصوديوم. ويعتبر إفراز الايدروجين ( $H^+$ ) هاما في مساعدة الحفاظ على ثبات درجة الحموضة (pH) في الدم. عند ابتداء حوضه الدم في الانخفاض، تفرز أيونات الايدروجين الزائدة في الأنابيب. وفي الحالات النادرة،

عندما يصبح الدم شديد القلوية، تقلل الأنابيب من إفرازها للأيديروجين لحين إعادة درجة حموضة الدم إلى حالتها الطبيعية. وبالمساعدة على الحفاظ على درجة حموضة الدم في الحدود الطبيعية وهي  $7.35 - 7.45$ ، يمكن للخلية إنتاج بول له درجة حموضة قليلة ( $4.5$ ) أو مرتفعة ( $8.0$ ).

ويلعب إفراز الأنابيب كذلك دوراً في استبعاد بعض الفضلات النيتروجينية الخاصة، مثل  $\text{NH}_3$  والكرياتينين (Creatinine) ولكن حتى بدون الإفراز الأنبوبي، يمكن للخلية أن تتعامل بسهولة مع استبعاد تلك المواد. والشئ الغريب، أن الإفراز الأنبوبي يلعب دوراً رئيسياً في استبعاد بعض المكونات الغير عادية والتي قد تدخل الجسم، مثل صبغة الفينول الحمراء. ويبدو رائعاً أن خلايا أنابيبنا تمتلك الآلة الانزيمية الخاصة بالنقل النشط للمواد التي تعرض لها نوعنا البشري حديثاً فقط.

## CONTROL OF THE KIDNEY

### ٢٥-٦. تحكم الكلية

يعاد امتصاص أغلب الماء المترشح عند تجمعات شعيرات الكلية ( $80-85\%$  منه) إجبارياً في الأنابيب القريبة، كما يعاد امتصاص كميات مختلفة من الماء المتبقى في الأنابيب البعيدة وقنوات التجمع طبقاً للاحتياجات المائية للجسم. وينظم إعادة الامتصاص الاختياري (Selective) للماء هرمون يعمل على زيادة إعادة الامتصاص للماء وبالتالي يقلل من حجم البول الناتج. ويسبب عمله هذا، يطلق على هذا الهرمون اسم المضاد للإفراز البوريني (Antidiuretic hormone) (Vasopressin) (ويُعرف كذلك باسم فاسوبريسين) (ADH) عديد الببتيدات (Polypeptide) ويحتوي على (٩) أحماض أمينية.

ويُفرز هرمون ADH من الغدة النخامية (Pituitary gland) وهي غدة صغيرة جداً موجودة عند قاعدة المخ. ويتحكم في إفراز هرمون ADH تركيز الماء في الدم. وأي سبب يتسبب في جفاف الجسم، مثل العرق الشديد، يسبب هبوطاً في تركيز الماء في الدم، وتكتشف ذلك مستقبلات (Receptors) في المخ تنبه بدورها الغدة النخامية لإفراز هرمون (ADH) الذي يعمل بدوره بواسطة الدم إلى الكلية. وفي الكلية يزيد هذا الهرمون من نفاذية جدر الأنابيب البعيدة وقنوات التجمع للماء. ويترك الكثير من الماء

بالضغط الأسموزي ويرجع إلى الدم ، وهذا يتسبب في إبقاء المستوي العادي للماء في الدم ، كما يؤدي ذلك أيضاً إلى إنتاج كمية شحيحة ولكن مركزة من البول.. وعند الافراز الغزير للهرمون (ADH) قد يصبح تركيز المواد الذائبة في البول أربعة أضعاف تلك الموجودة في الدم . ونحن نقاسم تلك القدرة في إنتاج بول زائد التركيز (Hypertonic) مع الثدييات الأخرى ومع الطيور، ولاتستطيع فقاريات أخرى عمل ذلك (إذ لا تمتلك تلك الفقاريات الأخرى عروة هنلى التي تجعل ذلك ممكناً).

وإذا ما بدأ الدم في أن يصبح مخففاً جداً (كما يحدث بعد شرب كمية من الماء)، يمتنع إفراز هرمون (ADH) وتعيد الأنابيب البعيدة وقنوات التجميع ماء أقل إلى الدم كما تنتج كمية كبيرة من البول المائي . وقد يكون تركيز المواد الذائبة في هذا البول نحو ربع تركيزها في الدم .

ومن وقت لآخر ، يفقد الناس قدرتهم على إفراز هرمون (ADH) ويكونون فريسة لمرض السكرى (Diabetes insipidus)، وأهم الأعراض الدراماتيكية لهذا المرض هو إنتاج بول مائي بكميات كبيرة، مصحوباً بذلك بالعطش الشديد، وقد يتبول المصابون نحو ٢٠ لتراً كل يوم (١٠-٢٠ ضعف متوسط الكمية) . ولتفادي الجفاف المميت يجب على مريض البول السكرى أن يعوضوا هذا الفقد من الماء بشرهم المياه العذبة .

وتكون إعادة امتصاص أيونات الصوديوم وأيونات الكالسيوم بواسطة الأنابيب أيضاً تحت التحكم الهرموني، وستتم دراسة تفاصيل عمل الهرمونين المسئولين عن ذلك في الباب السابع والعشرين .

ويجب أن توضح دراستنا عن فسيولوجية الأنابيب أن الكلية هي أكثر من مجرد عضو إخراجي . فبكل تأكيد فهي تبعد الفضلات النيتروجينية وغيرها، وتبعد أيضاً المواد الغريبة من الدم وكذلك المحتويات العادية في البلازما ، والموجودة في الدم بكميات أكثر من التركيز المعتاد . وعند وجود كمية زائدة من الماء، أيونات الصوديوم، أيونات الكلوريد، وغيرها، تمر هذه الزيادة بسرعة إلى الخارج في البول . ومن جهة أخرى، فإن الكلية تعمل على تعويض نفس المواد إذا ما تواجدت في الدم بكميات تقل عن التركيز العادي . وبهذه الطريقة، فإن الكليتين تنظمان باستمرار التركيب الكيميائي للدم في أجسامنا وذلك في حدود ضيقة . وتزول المنتجات الإخراجية ببساطة لأنها تميل

طبيعيا إلى التجمع في مستويات زائدة. والحفاظ على تركيب ثابت للدم يؤكد بدوره وجود سائل بين فراغي (Interstitial) ثابت. وباختصار، فإن الكلية هي من أهم الأعضاء في جسمنا التي تحافظ على تركيب ثابت للبيئة الداخلية، كما أنها واحدة من أهم أجهزة توازن وظائف الجسم.

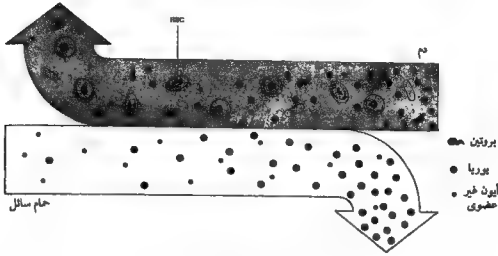
## ٢٥-٧. ميكانيكية الاستبعاد MECHANICS OF ELIMINATION

تستمر عملية تكوين البول بدون إنقطاع، وتصفى كل قناة تجمع البول من العديد من النفرونات إلى حوض الكلية (الشكل ٢٥-٣). ويتدفق البول من الكلية إلى المثانة بواسطة قناة هي الحالب (Ureter) والمثانة (Bladder) عضو عضلي مجوف تتمدد عندما يصب فيها البول من الكليتين. وعند امتلاء المثانة بالبول، يرتخى القابض (Sphincter) العضلي الذي يحرس مخرجها كي يخرج البول إلى الخارج عن طريق القناة البولية (Urethra).

ويدخل الحالبان المثانة بطريقة تجعل فتحتيهما (من جهة المثانة) يجبران على القفل عندما يبدأ الضغط في المثانة. وإذا ما تأخر تكوين البول لفترة من الوقت، يبدأ البول في التجمع في الحالبين وحتى في حوضي الكليتين. وأخيرا عند خلو المثانة، يسمح لهذا التجمع أن ينساب لأسفل، بذلك يجد الفرد أن التأخير الطويل في التبول، يتبعه بسرعة الحاجة إلى تبول ثان.

## ٢٥-٨. مرض الكلية KIDNEY DISEASE

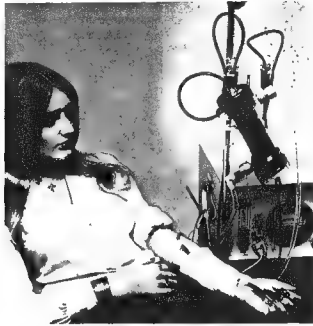
وكما يتوقع المرء من الأهمية الخاصة والقاطعة للموظيفة التي تؤديها الكليتان، فلي تدخل طويل الأمد في وظائفهما يكون له عواقب وخيمة. ولسوء الحظ، يوجد عدد من الأمراض والتي يكون نتيجتها تقليل أو حتى توقف الكلية عن العمل. فقد تسبب الصدمة من جراء إصابة بالغة، أو زيادة في فقد الدم، وبعض السموم، والساعات التي تعقب بعض الأمراض المعدية في حدوث فترة من الفشل الكلوي الحاد. فإذا ما استطاع الضحية أن يتخطى هذه الفترة من توقف عمل الكليتين - مع ما يصحب ذلك من بناء فضلات سامة - قد تبدأ الكليتان في العمل ثانية كما كانت في السابق. ومن جهة أخرى، يوجد عدد من أمراض تدهور الكلية التي تؤدي إلى فقدان التدريجي



الشكل ٢٥-٧. الانتشار الغذائي (Dialysis) في الكلية الصناعية. الجزيئات الصغيرة، مثل اليوريا، الأملاح تكون حرة الانتشار بين الدم وحمام السائل حيث تبقى الجزيئات الكبيرة والخلايا مرتبطة بالدم. ولابد من أن يكون حمام السائل يحتوي على الأملاح الرئيسية التي تضاف إليه لمنع الفقد الخطير لتلك الأملاح من الدم. ويضاف إلى الدم مادة ضد التجلط حتى لا يتجمد (يتجلط) أثناء مروره داخل الماكينة.

لوظيفة الكلية بدون عودة.

ويوجد سلاح واحد ضد هذه الأمراض التي تهدد الحياة وهو اختراع الكلى الصناعية والتي تعمل على أساس الانتشار الغشائي (Dialysis) (الشكل ٢٥-٧). وكما رأينا في قسم (٦-٣)، يوجد غشاء شبه منفذ، مثل لوح من السيلوفان، يفصل، مابين سائلين ويسمح للجزيئات الصغيرة والأيونات بالمرور خلاله ولكنه يمنع مرور الجزيئات الكبيرة مثل البروتينات. وتعمل آلة الكلية الصناعية (الشكل ٢٥-٨) ببساطة الدم (المعامل بالهيسارين - Heparin - وهي مادة مانعة للتجلط) عبر جهة واحدة من غشاء السيلوفان وحمام سائل مجهز جيدا عبر الجهة الأخرى. ولا يكون السائل، بطبيعة الحال، ببساطة من الماء، لأن هذا يؤدي إلى الفقد السريع لجميع الجزيئات الصغيرة والأيونات من الدم. وعلى أية حال، بتجهيز حمام سائل ذو تكوين خاص، فيمكن إبعاد أي أيون معين أو جزيء من (أو إضافة إلى) الدم، كما هو مناسب. وفي الحقيقة، فإن كفاءة التبادل كبيرة جدا لدرجة أنه في حالة عدم وجود يوريا في الحمام المائي الابتدائي، فإن الآلة تبعد اليوريا من الدم أسرع مما تستطيع الكليتان الحقيقيتان.

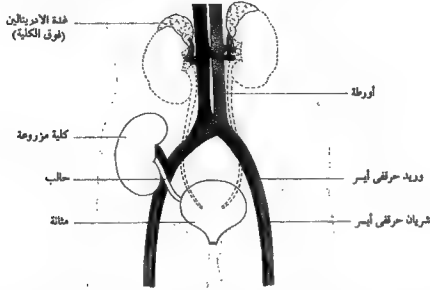


الشكل ٢٥-٨. الكلية الصناعية. يسحب الدم من شريان (الأنبوبة العلوية)، ويمر خلال مصيدة فقاعية، ويدخل الكلية الصناعية عند القمة. ويدخل مدد دائم من سائل حامى طازج (صافى) من الماكينة (الى اليسار من أسفل)، ويمر فوق أغشية الإنتشار ويترك (أعلى اليمين) للتخلص منه. ويترك الدم المتبقى الكلية الصناعية (أسفل)، ويمر في مصيدة فقاعية ثانية، ويرجع الى وريد في الذراع (الأنبوبة السفلى). (الصورة بتصريح من مؤسسة كوردس).

أثبتت الكلى الصناعية كفاءة مذهلة في مساعدة الضحايا المصابين بفشل كلوى حاد في تخطي المأساة إلى أن تبدأ كليتا الضحايا أنفسهم في العمل ثانية. كما أن الكليتين الصناعيتين مكنتا الكثير من الذين يقاسون من حالات مزمنة كي يظلوا أحياء، ولو على حساب كبير من الوقت (غالباً ثلاث جلسات Sessions وكل جلسة مدتها ٦ ساعات أو أكثر أسبوعياً) والتكلفة، والقدرة الفسيولوجية.

والبديل الذي يربى منه عن الإنتشار الغشائي الطويل المدى للفشل الكلوى الحاد هو زراعة كلية جديدة. والعملية بسيطة تكتيكياً، إذ توضع كلية المتبرع منخفضة في فراغ البطن ويوصل شريانها ووريدها إلى شريان ووريد حرقفى، على التوالي، ويمكن اتصال الحالب بسهولة إلى المثانة (الشكل ٢٥-٩).

والمشكلة الرئيسية لزراعات الكلية هي مشكلة الرفض المناعى، فإذا لم يكن للمريض توأم مماثل له كمتبرع، فإن جهازة المناعى يتعرف على الكلية المنزرعة كجسم



الشكل ٢٥-٩. طريقة زرع الكلية. تمعد كلية المستلم (المريض) في العادة، تربط الشرايين والأوردة الكلوية (فيما عدا الفروع التي تغذي غدة الأدرينالين - غدة فوق الكلية - والتي يتم تركها ملتصقة)

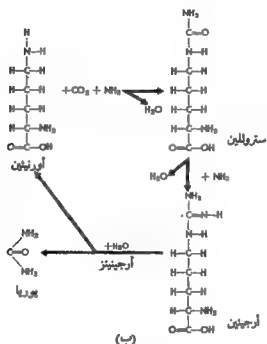
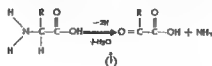
غريب ويبدأ في تدميرها. وعلى أية حال، فقد وجدت عقاقير متنوعة فعالة في إحباط ميكانيكية مناعة الجسم. وبلاستخدام الحذر لتلك العقاقير، يبقى الكثير من الكلى المنزوعة عاملة لمدة تبلغ عدة سنوات. ويخصوص الزرع بين التوائم المتماثلة، فلا حاجة إلى العقاقير المثبطة للمناعة، إذ يمكن للكلية الجديدة البقاء مدى الحياة (٢٥ سنة هو الرقم القياسي عند كتابة هذا المؤلف)، إلا إذا تقدم المرض الذي يدمر كلية الضحية ويدمر الكلية الجديدة.

## ٢٥-٩. الفضلات النيتروجينية للانسان

### THE NITROGENOUS WASTES OF HUMANS

إن الفضلات الأساسية النيتروجينية في الانسان (كما في جميع الثدييات) هي اليوريا، التي تصنع في الكبد. وتنشأ أغلب الفضلات النيتروجينية في الجسم من تكسير الأحماض الأمينية، يحدث هذا التكسير الأميني Deamination كذلك في الكبد. وينتج عن التكسير الأميني تجمع الأمونيا (الشكل ٢٥-١٠) وهي مادة سامة جدا وتجمعها في الجسم معناه الموت السريع. وعلى أية حال، تحتوي الكبد على جهاز





شكل ٢٥-١٠. (أ)  
التكسير الأميني، (ب) تخليق  
اليوريا. ويتبع فعل أنزيم  
الأرجينيز جزئاً من اليوريا  
ويتجدد الأورنيثين للدخول  
في الدورة مرة أخرى.

من جزيئات حاملة وانزيات تحول الأمونيا (وثاني أكسيد الكربون) بسرعة إلى يوريا. وكلها تم تخليق جزيء من اليوريا فإن الجزيء الحامل، الأورنيثين Ornithine ، يتجدد لكي يعاد إستخدامه. ولا يمكن لأجسامنا تحمّل تركيزات مرتفعة من اليوريا، مع أنها أقل سمية بكثير من الأمونيا. فكلما رأينا، تبعد الكلية اليوريا بكفاءة من الجسم.

ومن العجب وجود كميات صغيرة من حمض اليوريك في البول. وحمض اليوريك هو مادة الفضلات النيتروجينية الرئيسية في الحشرات والسحالي والثعابين والطيور. ومن بين جميع الثدييات، على أية حال، فالإنسان فقط، القردة العليا والكلب الدلماتي (Dalmatian) هي التي تفرز حمض اليوريك. وينشأ حمض اليوريك في الإنسان من تكسير الأحماض النووية وليس من البروتينات. والثدييات الأخرى تنتج حمض اليوريك بتكسير الأحماض النووية، ولكن يوجد بها أيضا إنزيم يحلل حمض اليوريك بعد ذلك. وكما ذكر سابقا، فإن حمض اليوريك غير قابل للذوبان. وفي بعض الأفراد، قد يكون تركيز حمض اليوريك مرتفعا بحيث أنه يبدأ في الترسيب خارج

المحلول. وتتراكم بللورات إيرية من حمض اليوريك في المفاصل، مسببة ألما حادة نتيجة الإصابة بمرض يسمى النقرس أو داء الملوك. (Gout).

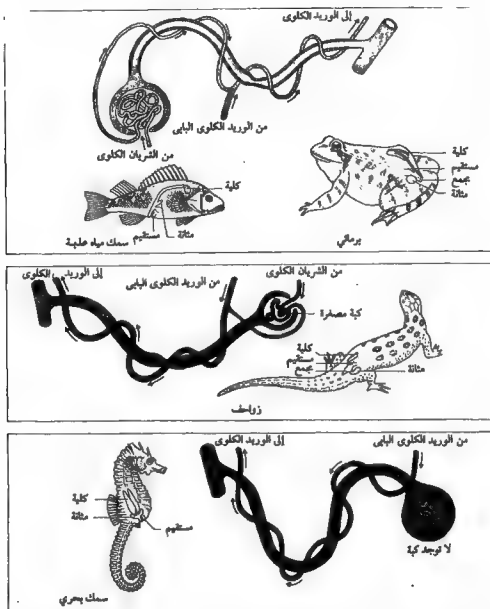
## EXCRETION IN OTHER VERTEBRATES الأخراج في الفقاريات الأخرى

توجد الكل في جميع الفقاريات. ومثل كلية الانسان، فهي مكونة من مجاميع من النفرونات. وتوجد، على أية حال، بعض الاختلافات في تركيب ووظيفة النفرونات في كلى الفقاريات المختلفة (غير الانسان). ويمكن إرجاع تلك الاختلافات إلى البيئة التي تعيش فيها تلك الحيوانات.

## AQUATIC VERTEBRATES ٢٥-١٠. الفقاريات المائية

تعاني أسماك المياه العذبة، مثل جميع حيوانات المياه العذبة، من التدفق المستمر للماء من البيئة الأقل قوة (Hypotonic) وحراشيف الأسماك غير منفذة للماء، ولكن أغشية الخياشيم الرقيقة تسهل دخول الماء إلى الجسم. ولتجنب التخفيف الشديد للسوائل بالجسم، لا بد لسمكة المياه العذبة أن تفرز هذا الماء الزائد، يمكنها عمل ذلك بنفس الميكانيكية الموجودة في الأميبا: أي استخدام الطاقة لإرجاع الماء ثانية إلى البيئة. وفي الأسماك، يقوم (ATP) بإمداد الطاقة اللازمة لإنقباض القلب، ويزودنا إنقباض القلب بالضغط اللازم لدفع الدم إلى الخارج من الكبة (glomerulus) الموجودة في حوصلة بومان. وبالطبع تمر أيضا أملاح قيمة (مثل الأملاح، الجلوكوز) بداخل المرشح النفروني، وهذه يجب الاحتفاظ بها بواسطة الأنابيب في الكلية، وتمر في الدم في الشعيرات المحيطة بالأنابيب. ويأتي الدم اللازم لهذه الشعيرات من الكبة الموجودة في حوصلة بومان (كما في الإنسان) وكذلك من الأوردة التي تنزع (Drain) الدم من المنطقة الخلفية من جسم السمكة (الشكل ٢٥-١١). وهذا الجزء الخاص من تزويد الدم يسمى بالجهاز الكلوي البائي (Renal Portal System) (ما هو المثل الآخر الذي قمتم بدراسة والحفاص بوريد يؤدي إلى نهاية الشعيرات الدموية بدلا من العودة مباشرة إلى القلب؟).

وبعد إستكمال إعادة إمتصاص الأملاح، لا تكون اليوريا إلا أكثر من ماء وتترك أغلب الفضلات النيتروجينية (بما فيه كميات كبيرة من  $\text{NH}_3$  و  $\text{NH}_4^+$ ) في الواقع جسم السمكة بالإنتشار للخارج عن طريق الخياشيم. والكلى هي وسيلة للحفاظ على توازن مائي سليم في الحيوان، أكثر منها كعضو إخراجي.



الشكل ٢٥-١١. مقارنة بين كل الفقاريات. في كل حالة، يكون لتركيب النفرون علاقة بالدور الذي يلعبه في إبقاء محتوى مائي ثابت داخل الحيوان.

وتواجه الأسماك البحرية عكس المشكلة التي تواجهها أسماك المياه العذبة. فمحتويات ماء البحر من الأملاح مرتفعة جداً لدرجة، من الناحية الفسيولوجية، أن تعيش الأسماك البحرية في الواقع في بيئة جافة، وهي في خطر دائم من فقد ماء الجسم الحيوي إلى البيئة الأكثر قوة (Hypertonic).

وامكن للأسماك البحرية حل تلك المشكلة بطريقتين . فالأسماك الغضروفية مثل سمك القرش (Sharks) وأسماك (Skates) وكذلك الأسماك الشعاعية (Rays) تكونت عندهم مقاومة للمستويات المرتفعة الغير عادية من اليوريا في مجرى الدم بها . فقد يحتوي دم سمك القرش على ٢,٥ ٪ يوريا مقابل ٠,١-٠,٣ ٪ في دم الفقاريات الأخرى . وهذا المستوي من اليوريا مرتفع جداً بحيث يكون دم سمك القرش متعادل القوة (Isotonic) مع مياه البحر، ويعيش سمك القرش في توازن أسموزي مع بيئته وله كلية تعمل مثل كلية الإنسان (فما عدا أن اليوريا التي يعاد إمتصاصها في أنابيب كلية سمك القرش تفوق بكثير تلك التي يعاد إمتصاصها في أنابيب كلية الإنسان) .

وامكن للأسماك البحرية العظمية حل المشكلة بطريقة مختلفة (قسم ٦-٣) ، فهي تفقد الماء باستمرار ولكنها تستبدله بشرها مياه البحر وتقليل ملحوظة بسبب رجوع الملح إلى البحر بالنقل النشط عند الخياشيم . وتكون معيشة الأسماك العظمية في خطر دائم بسبب الجفاف من مياه البحر الزائدة الملوحة، ولا تجد سبيلاً في ضخها لكميات كبيرة من الرشح الضروي عند الكبد . فكلما قلت كمية الماء التي توضع في الأنابيب، كلما قلت كمية الماء الواجب إعادة إمتصاصها . وليس من المستغرب أن الكثير من تلك الأسماك بها كبد (glomeruli) صغيرة جداً وضعيفة الأداء الوظيفي ، بل وإن البعض ليس به كبد بالمرة (الشكل ٢٥-١١) .

وبالتخفيض في ميكانيكية إعادة إمتصاص - المواد المترشحة ، فإن تلك الأسماك تعتمد أكثر على إفراز الأنابيب لإستبعاد الأملاح الغير مرغوب فيها . ويحتاج إفراز الأنابيب إلى مدد كبير من الدم إلى تلك الأنابيب . ويفقدان تلك الكبد، فلا بد من أن يقوم الجهاز الكلوي البالي بالجزء الأكبر من الحمل .

## ١١-٢٥ . الفقاريات الأرضية TERRESTRIAL VERTEBRATES

تعمل كلية البرمائيات (Amphibians) مثل كلية سمك المياه العذبة، أساساً لميكانيكية إخراج الماء الزائد . ويزود الجلد النفاذ للضفدعة مكاناً سهلاً للمياه المحيطة بالدخول عن طريق الضغط الأسموزي . وكما يقترح إسم البرمائيات ، على أية حال ،

فقد تقضى هذه الحيوانات بعض الوقت على الأرض وتصبح المشكلة عندئذ هو حفظ الماء، وليس إستيعاده. وتنظم الضفدعة نفسها على المحتويات المائية المختلفة ليثبتها بتنظيمها معدل الترشيح عند الكبة. ويوجد جهاز كلوى بايى لحمل المواد المعاد إمتصاصها بالأنابيب بعيداً أثناء تلك الفترات عندما يكون تدفق الدم محدوداً في الكبة (الشكل ٢٥-١١). وعلاوة على ذلك، تستطيع الضفدعة إستخدام مثانتها البولية كجهاز لحفظ الماء، فعند وجودها في الماء، تمتلئ المثانة بسرعة بيوريا مائية سميكة، وعلى الأرض يمتص هذا الماء ثانية في الدم، بذلك يعوض فقد الماء الذي تم بالبحر عن طريق الجلد. وتكون ميكانيكية إعادة الإمتصاص تحت تحكم هرموني مشابه لهرمون (ADH).

ويعيش كثير من الزواحف (Reptiles) مثل ثعابين الصحراء ذات الأجراس (Rattlesnakes) في بيئات جافة جداً. ومن بين التحويلات العديدة التي تمكنها من ذلك قدرتها على تحويل مركبات الفضلات النيتروجينية إلى حمض يوريك. وكما لاحظنا، فإن حمض اليوريك هذا غير قابل للذوبان، وعلى ذلك، يمكن إخراجة بدون إستخدام ماء كثير. وطبقاً لذلك، فإن الكبد في تلك الثعابين تكون صغيرة نسبياً. وفي الحقيقة، فإنه ليس لبعض الزواحف كبد بلمرة أي أنها خالية من كبد، وتلك التي بها الكبد ترشح سائلاً يكفى فقط لغسل حمض اليوريك الذي يفرز عن طريق الأنابيب في المجمع (Cloaca) (والمجمع عبارة عن غرفة يمر خلالها البراز والخلايا الجنسية وكذلك البول في طريقهم إلى الخارج. ويأتي الإسم من الكلمة اللاتينية للمبالوعة - أو المجرور). ويداخل المجمع، يعاد إمتصاص أكثرية الماء وتفرغ الزواحف مجمعها دورياً، ويزاها ذو لون بنى، ويكون حمض اليوريك على هيئة عجينة بيضاء. وهذه الميكانيكية لحفظ الماء تجعل الزواحف قادرة على البقاء حتى وإن وجد أو لم يوجد ماء يمكن الحصول عليه. وتتضاعف كمية الماء الموجودة في غذاء الزواحف بالماء الناتج عن التنفس الخلوي وهو عادة يكفى لإحتياجاتها.

ومن الأهمية ملاحظ أن قدرة هذه الزواحف على تحويل فضلاتها النيتروجينية إلى حمض اليوريك لمي ملائمة للمعيشة على الأرض الجافة تماماً مثل ما يفعل جلدها الغير منفصل للماء وكذلك رثاها، فأحدها ملائمة فسيولوجية، و الأخرى تركيبية (مورفولوجية). ولكن لوحظ، أيضاً، أنه يصاحب حمض اليوريك تغيرات تركيبية في

الكلية، إذ أن التركيب والوظيفة في الكائنات الحية مرتبطان كلية فلا يمكن أن نفهم التركيب التنظيمي للخلايا، الأنسجة، الأعضاء والأجهزة بدون تفهم كيفية عملها. ومن جهة أخرى، فالأنشطة الفسيولوجية للكائنات الحية يمكن القيام بها فقط بتراكيب منظمة تنظيمياً جيداً. والطالب الذي يقوم بدراسة كيفية عمل تلك المكونات التركيبية يأخذ لمحة سريعة على نصف قصة الحياة فقط، تماماً كما هو محدد في نظر الطالب الذي يقوم بدراسة الأنشطة الفسيولوجية بدون الاهتمام بالتركيبات التي تقوم بتلك الأنشطة.

وتحل الطيور (Birds) مشكلة الحياة على الأرض - الجافة بطريقة مماثلة لتلك الحلول التي حلت بها الزواحف والثعابين مشاكلها. فحمض اليوريك هو أيضاً ناتج فضلاتها النيتروجينية، وهي المادة البيضاء التي يتركها الحمام فوق التماثيل.

ولو أن الكبد في الطيور صغيرة جداً، فإنها تعمل بنشاط وتنتج كمية كبيرة من الراشح النفروني. ومن المحتمل وجود سببان لذلك، فالطيور (مثل الثدييات) ليس بها جهاز كلوي باهئ، لذلك فإن الدم اللازم لإعادة الإمتصاص في الأنابيب وكذلك الإفراز لابد أن يأتي من تلك الكبد. علاوة على ذلك، فالطيور (وثانية مثل الثدييات) لها ضغط دم مرتفع وبذلك لا يمكنها تفادي معدلات الترشيح المرتفعة التي تحدث في الكبد. وعلى أية حال، فالإنتاج الزائد من الراشح النفروني يكون أكثر مما يمكن تعويضه عن طرق الزيادة في إمتصاص الماء في الأنابيب. وقد يصل تركيز حمض اليوريك في بول الطيور نحو ٢١٪، ويزيد هذا التركيز عن ٣٠٠٠ مرة تركيز حمض اليوريك في الدم. وإفراز الأنابيب لحمض اليوريك هام جداً في هذه العملية من التركيز، لكن إعادة إمتصاص الماء في الأنابيب تعتبر عملية حيوية، كذلك.

ولو أن الثدييات هي كذلك حيوانات أرضية، إلا أن المادة الرئيسية في فضلاتها النيتروجينية هي اليوريا. ولتحتاج تلك المادة إلى كمية كبيرة من الماء لإستبعادها أكثر مما يحتاجه حمض اليوريك. وكما رأينا، تنتج الثدييات كميات كبيرة من الراشح النفروني ولكنها قادرة على إعادة إمتصاص أغلبه في الأنابيب. وحتى مع إعادة الإمتصاص العضوي للماء في الأنابيب لابد للإنسان من أن يفرز عدة مئات من الملليترات يومياً حتى يمكنه دفع اليوريا إلى خارج الجسم.

ولبعض الثدييات كل أكثر كفاءة من كليتنا نحن في هذا المجال، لإعادة الإمتصاص



الشكل ٢٥-١٢. فأر الكانجارو (*Dipodomys spectabilis*) هذا الحيوان الثديي الصغير هيا حياته جيدا للمعيشة في الصحراء ولا يحتاج للماء مطلقا.

في أنابيب فأر الكانجارو (الشكل ٢٥ - ١٢) ذات كفاءة عالية لدرجة أن هذا الفأر يمكنه إنتاج يورين Urine يعادل ١٧ مرة تركيز دمها. وأعلى يورين مركز جدا (Hyper- tonic) يمكننا أن نتجده يعادل فقط في التركيز ٤ أضعاف تركيز الدم في أجسامنا. ويحتفظ فأر الكانجارو بالماء بالبقاء في حجوره أثناء حرارة اليوم، بذلك يقلل من فقد الماء عن طريق التبخر. وهذا المزج في الملاءمة السلوكية الفسيولوجية تجعل من غير الضروري لفأر الكانجارو أن يشرب الماء وتكفي الكمية البسيطة من الماء الموجوده في غذائه وكذلك الماء الناتج عن طريق التنفس الخلوي من سد إحتياجات هذا الحيوان الثديي.

ولقد كنا نشرح الكلى المختلفة الموجودة في فقاريات هذه الأيام، التي يعتقد أنها قد نشأت كلها خلال حقبة كبيرة من الزمن من أصل (Ancestor) واحد. ومن المحتمل أن تكون الأسماك قد نشأت في أواخر هذه الحقبة. وتمثل الثدييات والطيور تغيرا أكبر من الفقاريات الأولى (المبكرة). وكما نشأت الطوائف المختلفة من الفقاريات على الأرض، نشأت طرق جديدة من الحياة أيضا فعاشت البرمائيات على الأرض والطيور في الهواء. ويصبح من المستغرب ألا يعكس تطور عضو أهمية الكلية في تلك التغيرات. وفي هذا الباب تعرفنا على كيفية ملاءمة الكلى في الفقاريات المختلفة لطريقة حياة حيواناتها. وفي الباب الأربعين، سنبحث ثانية هذه الملاءمات كجزء من الصورة الأوسع للكثير من التغيرات التركيبية والوظيفية والتي وجدت أثناء تطور الطوائف المختلفة للفقاريات.

## ملخص الباب

## CHAPTER SUMMARY

الاجراج هو إستبعاد المواد التي تتجمع بكميات تزيد عن حاجة الكائن. وتنشأ في الحيوانات مشكلات الاجراج الكبرى وهي الحاجة إلى إستبعاد (التخلص من) المركبات النيتروجينية. والأمونيا، وهي أول نواتج التحلل الغذائي للبروتينات، شديدة الذوبان وشديدة السمية. وتستخدم الحيوانات الأرضية مسارات الأيض لتحويل الأمونيا إلى أشكال أقل سمية، أو أقل ذوباناً مثل اليوريا (كما في البرمائيات والثدييات) وحمض اليوريك (في الحشرات والسحالي والثعابين والطيور).

والكل هي أعضاء الاجراج الرئيسية في الفقاريات الأرضية. وتعمل الكل أساساً بإعادة امتصاص الانتخابي (Selective). فكل الأيونات والجزيئات الصغيرة في الدم تصب أولاً في النفرونات بالكلية كراشح خالي من البروتين من الدم يسمى بالراشح النفروني. ويمرور هذا السائل خلال أنابيب النفرونات، يحتفظ الجسم بتلك المواد التي يحتاجها (مثل الصوديوم  $\text{Na}^+$  والماء يد  $\text{H}_2\text{O}$ ) بالكميات المطلوبة تماماً. وخلاف الماء، تدخل هذه المواد ثانية إلى الدم بطريقة النقل النشط. وعلاوة على ذلك، فإن بعض المواد (مثل الكالسسيوم  $\text{Ca}^{2+}$  والأيديروجين  $\text{H}^+$ ) تصب مباشرة في السائل الموجود بداخل الأنابيب وهي عملية تعرف باسم الإفراز الأنبوبي والسائل الذي يتبقى بعد تجهيز محتويات الأنابيب هو البول Urine.

وإسترداد كل مادة من الراشح النفروني يكون منظماً تنظيمياً دقيقاً. فإعادة إمتصاص الماء، على سبيل المثال، يتحكم فيها المخ جزئياً والذي يعمل عن طريق هرمون (ADH) وهو هرمون تفرزه الغدة النخامية.

وعلاوة على وظائفها الاجراجية، فإن كل الفقاريات تلعب دوراً رئيسياً في الحفاظ على التوازن المائي، بعملها هذا تمكن أصحاب هذه الكلى من المعيشة في بيئات مختلفة مثل المياه العذبة، المحيطات، الأراضي الجرداء.

## تمارين ومسائل

## EXERCISES AND PROBLEMS

١ - ما هي الفضلات الرئيسية النيتروجينية لكل من:



- (أ) الثعبان ذو الاجراس (ب) الكلب،  
(ج) الدجاجة، (د) سمكة القرش؟
- ٢ - تتبع المسار الذي يعبره جزيء يوريا من وقت دخوله الشريان الرئوي الى أن يترك الجسم؟
- ٣ - قارن بين السائل البين فراغي (Interstitial) والراشح النفروني من حيث:  
(أ) التركيب، (ب) طريقة التكوين.
- ٤ - في أي عضو يحدث تخليق اليوريا؟
- ٥ - لماذا تعتبر مشكلة الإخراج أقل تعقيدا في شجرة الحور (Maple) عنها في الكلب؟
- ٦ - أذكر أهم التركيبات اللازمة للحفاظ على التوازن المائي في:  
(أ) الأميبا (ب) سمك التراوت (Trout)  
(ج) الانسان، (د) الألوديا Elodea؟
- ٧ - كيف يمكن لكمية من البول المتكونة في الضفدعة أن تتغير عندما تنتقل من مستنقع الى الأرض؟ هل تتغير كمية البول التي يكونها حيوان كلب الماء (Beaver) تحت نفس الظروف؟
- ٨ - ميز بين الإخراج المسمى Excretion والإخراج المسمى Egestion.
- ٩ - تفرز الثدييات آكلة الحوم مركبات أعلى من اليوريا عن الثدييات آكلة الأعشاب، أشرح؟
- ١٠ - أثناء تكون اليوريا، لماذا لا يزيد تركيز الأملاح طردياً مع تركيز اليوريا؟
- ١١ - لا يعاد امتصاص أو إفراز الانيولين (Inulin) العديد السكريات بواسطة أنابيب الكلية، يصب الانيولين في مجرى الدم في الانسان بمعدل يجعل تركيزه في البلازما ٦ جرام / لتر لمدة ساعة، ويتجمع كل البول المتكون أثناء تلك الفترة وبه ١,٠٢ جرام من الانيولين. كم من الليترات من المرشح النفروني يمكن للفرد ان يكونها خلال ٢٤ ساعة؟ (تعرف القيمة بأنها معدل المرشح النفروني (GFR)
- ١٢ - أثناء التجربة التي وصفت في السؤال السابق، تم إفراز ٢٥,٥ جرام من اليوريا في البول. ما هي النسبة المئوية لليوريا المترسحة عند الكُـب (glomeruli) والتي يتم إبقاؤها في الأنابيب عندما يكون تركيز اليوريا في البلازما ٣٠٠ ملليجرام /

الترطوال المدة (٢٤ ساعة)؟

١٣ - خلال نفس الأربع والعشرين ساعة المذكورة في السؤالين السابقين، اعطى الفرد المستحضر (P-aminohippuric acid) بالمعدل الذي يحفظ تركيزه في البلازما له عند المقدار ١٥٠ ملليجرام / لتر، تم إخراج ١٠٠ جرام من المستحضر الدوائي في البول. إشرح الميكانيكية التي أمكن بها إخراج حمض بارا - أمينوهيبوريك (P-Aminohippuric acid).

## REFERENCES

## المراجع

1. SMITH, H. W., The Kidney, Scientific American Offprint No. 37, January, 1953. This beautifully written article reviews the anatomy and physiology of the mammalian kidney, its evolutionary history, and how the various vertebrate kidneys are adapted to the homeostatic needs of their owners.
2. MOFFAT, D. B., The Control of Water Balance by the kidney, Oxford Biology Readers, No. 14, Oxford University Press, Oxford, 1971.
3. FERTIG, D. S. and V. W. EDMONDS, The Physiology of the House Mouse, Scientific American, Offprint No. 1159, October, 1969. With the emphasis on its mechanisms for maintaining water balance.



# BIOLOGY

## هذا الكتاب

إن التقدم السريع الذي يحدث في علوم الأحياء، يجعل هناك المزيد والمزيد دائماً مما نود أن نقوله لأساتذة وطلاب هذا العلم ولكن من عيوب ذلك أن كتب علم الأحياء تزداد كثيراً في الحجم.

لذا نجد أن هذا الكتاب قد تم تجزئته إلى جزئين، الجزء الأول «وهو في كتاب مستقل» يشمل ستة أقسام، وهي مبوبة بدورها إلى خمسة وعشرين باباً. وهذه الأقسام الستة تتلخص في: مقدمة، تنظيم الحياة، حياة الخلية، الوراثة، التكاثر والنشأة، تنظيم البيئة الداخلية.

أما الجزء الثاني «وهو أيضاً في كتاب مستقل عن الجزء الأول» فقد تم تقسيمه إلى ثلاثة أقسام، وقد تم تبويبها في سبعة عشر باباً. وهذه الأقسام الثلاثة تتحدث عن: الاحساس والتناسق، التطور، علم البيئة «الدراسة الاحيائية للعشائر وبيئتها». كما أنه في نهاية الجزء الثاني نجد بذرة عن النظام الدولي للوحدات، وكذلك قائمة المصطلحات مرتبة أبجدياً بالعربية ثم بالانجليزية.